ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

ANNEE : 1982 THESE : 35

UTILISATION DU LACTOSERUM DANS L'ALIMENTATION HUMAINE ET ANIMALE ASPECTS ACTUELS

THESE

Pour le Doctorat Vétérinaire
(Diplôme d'Etat)
Présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université de Paul Sabatier de Toulouse

par

Nicolas, Yves, Charles RAISIN-DADRE

Né le 6 février 1955 à SAINTES (Charente Maritime)

Membres du Jury

Président : ..... Monsieur MONNIER
Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Assesseurs : ..... Monsieur EECKHOUTTE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Monsieur DARRE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

UNIV. LEIDEN 1924

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547625_0027

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

ANNEE : 1982 THESE : 35

UTILISATION DU LACTOSERUM DANS L'ALIMENTATION HUMAINE ET ANIMALE ASPECTS ACTUELS

THESE

Pour le Doctorat Vétérinaire
(Diplôme d'Etat)
Présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université de Paul Sabatier de Toulouse

par

Nicolas, Yves, Charles RAISIN-DADRE

Né le 6 février 1955 à SAINTES (Charente Maritime)

Membres du Jury

Président : ..... Monsieur MONNIER
Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Assesseurs : ..... Monsieur EECKHOUTTE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Monsieur DARRE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur : ..... M.LAUTIE
Directeur honoraire : ..... M. FLORIO
Professeurs honoraires : ..... M. BRIZARD
..... M. SAURAT

PERSONNEL ENSEIGNANT
CHAIRE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE

Professeur titulaire ..... M. GODFRAIN
Professeur sans chaire ..... Mme BURGAT-SACAZE

Pharmacie et Toxicologie

CHAIRE DE PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MEDICALES

Professeur titulaire ..... M. RICO
Professeur sans chaire ..... M. BRAUN
Maître Assistant ..... M. BENARD

Physique Biologique et Médicale
Chimie Biologique et Médicale
Informatique biologique et médicale

CHAIRE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Professeur titulaire ..... M. PAVAUX
Maître Assistant ..... M. LIGNEREUX
Maître Assistant ..... M. SAUTET

Organogénèse - Tératologie
Anatomie Générale - Anatomie Appliquée

CHAIRE DE PHYSIOLOGIE, PHARMACODYNAMIE ET THERAPEUTIQUE

Professeur titulaire ..... M. RUCKEBUSCH
Professeur sans chaire ..... M. FARGEAS
Maître Assistant Agrégé ..... M. TOUTAIN

Physiologie - Pharmacodynamie - Thérapeutique

CHAIRE D'HISTOLOGIE - ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Professeur titulaire ..... M. VAN HAVERBEKE
Professeur sans chaire ..... M. CABANIE
Maître Assistant Agrégé ..... M. MAGNOL

Histologie - Embryologie
Anatomie Pathologique - Clinique

CHAIRE D'HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE

Professeur titulaire ..... M. LABIE
Maître de Conférences ..... M. EECKHOUTTE
Maître Assistant Agrégé ..... Mme BENARD

Hygiène - Inspection - Contrôle et Technologie des denrées alimentaires d'origine animale - Clinique

CHAIRE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES

Professeur titulaire ..... M. DORCHIES
Maître de Conférences ..... M. FRANC
Maître Assistant ..... M. DUCOS DE LAHITTE

Zoologie appliquée - Ecologie - Parasitologie externe -
Dermatologie - Parasitologie interne - Clinique

CHAIRE DE SEMIOLOGIE ET PATHOLOGIE MEDICALE
DES EQUIDES ET CARNIVORES ET DE LEGISLATION

Professeur titulaire ..... M. LESCURE
Maître de Conférences ..... M. GUELFI
Maître Assistant ..... M. REGNIER

Sémiologie et Pathologie Médicale des Equidés et Carnivores
Législation Vétérinaire et Déontologie Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE MEDICALE DU BETAIL
ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR

Professeur titulaire ..... M. TOURNUT
Maître de Conférences ..... M. BEZILLE
Maître Assistant ..... M. JOUGLAR
Maître-Assistant ..... M. FAYOLLE

Sémiologie et Pathologie Médicale du bétail et des animaux de basse-cour
Clinique - Consultation itinérante

CHAIRE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE

Professeur titulaire ..... M. CAZIEUX
Maître de Conférences ..... M. GENEVOIS
Maître-Assistant ..... M. AUTEFAGE

Propédeutique et Sémiologie Chirurgicale - Radiologie - Technique Chirurgicale - Anesthésiologie
Pathologie Chirurgicale - Clinique - Traumatologie - Podologie orthopédique

CHAIRE DE PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION

Professeur titulaire ..... M. FERNEY
Professeur sans chaire ..... M. ROYAL

Pathologie de l'appareil génital et de la mamelle - Sémiologie et Propédeutique - Pathologie de la Reproduction - Obstétrique et pathologie du nouveau-né - Clinique - Consultation itinérante

CHAIRE DE MALADIES CONTAGIEUSES - ZOONOSES -
LEGISLATION SANITAIRE

Professeur titulaire ..... M. CHANTAL
Maître Assistant ..... M. PICAVET

Epidémiologie - Maladies contagieuses - Zoonoses
Législation Sanitaire - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE GENERALE - MICROBIOLOGIE - IMMUNOLOGIE

Professeur titulaire ..... M. LAUTIE
Maître Assistant ..... M. PELLERIN
Maître Assistant ..... M. MILON

Microbiologie - Immunologie - Pathologie Générale

CHAIRE D'ELEVAGE ET ECONOMIE

Professeur titulaire ..... M. QUEINNEC
Professeur sans chaire ..... M. DARRE
Maître Assistant ..... Mme QUEINNEC

Ethnologie - Génétique animale - Extérieur - Zootechnie et Economie générales - Ethologie appliquée, Sciences, Techniques, Economie de l'Elevage et des Productionsanimales
Insémination artificielle - Organisation de l'Elevage

CHAIRE D'ALIMENTATION

Professeur titulaire ..... M. FALIU
Professeur sans chaire ..... M. GRIESS
Maître Assistant ..... M. ENJALBERT

Botanique appliquée et Bromatologie - Agronomie - Alimentation

CHARGES D'ENSEIGNEMENT

MM. les Professeurs : ANGELIER, ARMENGAUD, COMBES, COMBRET, CROS, FERNET, et MAZENC.

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsable des opinions émises par les candidats
(Délibération de la Faculté en date du 10 mai 1891 et du Conseil de l'Ecole en date du 13 juin 1924).

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur MONNIER
de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Qui nous a fait l'honneur d'accepter
la présidence de notre jury de thèse.
Hommage respectueux.

A NOTRE JURY DE THESE

Monsieur le Professeur EECKHOUTTE
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Qui a bien voulu nous proposer ce sujet de thèse et qui nous a aidé à le réaliser dans les meilleures conditions.
Qu'il veuille bien trouver ici, l'expression de notre profonde gratitude et de notre respectueuse amitié.

Monsieur le Professeur DARRE
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Qui a bien voulu accepter de faire partie de notre jury de thèse.
Qu'il trouve ici l'expression de nos vifs remerciements.

UTILISATIONS DU LACTOSERUM

DANS L'ALIMENTATION

HUMAINE ET ANIMALE

- ASPECTS ACTUELS -

P L A N

-oOo-

INTRODUCTION ..... p 1

PREMIERE PARTIE - RAPPELS

I - FABRICATION DES LACTOSERUMS ..... p 3

1.1. Les sérums acides ..... p 3

1.1.1. Précipitation de la caséine .... p 3
1.1.2. Fermentation lactique ..... p 3

1.2. Les sérums doux ..... p 5

II - COMPOSITION DES DIFFERENTS LACTOSERUMS .....p 5

III - IMPORTANCE ECONOMIQUE .....p 10

DEUXIEME PARTIE - LES LACTOSERUMS NON MODIFIES

I - LE LACTOSERUM BRUT LIQUIDE .....p 13

1.1. Obtention .....p 13
1.2. Matière intermédiaire .....p 13
1.3. Alimentation des porcs .....p 13

1.3.1. Digestion du lactose du lactosérum .....p 13
1.3.2. Conditions d'utilisation .....p 13

a) Porcs à l'engrais .....p 13
b) Porcelets .....p 14
c) Effluents de porcherie .....p 14

1.4. Alimentation des ruminants .....p 14

1.4.1. Digestion dans le rumen .....p 14
1.4.2. Utilisation du lactosérum .....p 15

II - LE LACTOSERUM PRECONCENTRE .....p 16

2.1. Procédé .....p 16

2.1.1. Principe .....p 16
2.1.2. Technique .....p 16

2.2. Utilisation en alimentation animale .....p 17

III - LE LACTOSERUM CONCENTRE ..... p 17

3.1. Technique générale ..... p 17
3.2. Procédé DYNALAC ..... p 17
3.3. Alimentation des volailles ..... p 18
3.4. Alimentation des bovins ..... p 19

3.4.1. Utilisation dans les aliments du bétail ..... p 19
3.4.2. Utilisation dans les suppléments liquides ..... p 20

IV - LES LACTOSERUMS EN POUDRE ..... p 20

4.1. Techniques ..... p 20

4.1.1. Procédé Spray ..... p 20
4.1.2. Procédé Hatmaker ..... p 20

4.2. Utilisation dans l'alimentation des veaux p 20

4.2.1. Digestion du lactose ..... p 20

a) Transit digestif ..... p 21
b) Digestion enzymatique ..... p 21
c) Digestion microbienne ..... p 21
d) Pouvoir diarrhéique ..... p 21
e) Utilisation digestive ..... p 22

4.2.2. Utilisation ..... p 22

4.3. Utilisation en alimentation humaine ..... p 22

4.3.1. Produit de cuisson céréalier ... p 22

a) Panification ..... p 22
b) Biscuiterie ..... p 23

4.3.2. Produits de charcuterie, de salaisons, et conserves de viande p 24

a) Propriétés du lactose et des protéines ..... p 24
b) Utilisation ..... p 24

TROISIEME PARTIE - LES LACTOSERUMS MODIFIES

I - DESSALIFICATION ..... p 25

1.1. Technique ..... p 25
1.2. Utilisation ..... p 25

1.2.1. Laits maternisés ..... p 25

a) Avantages liés au lactosérum .... p 26

II - HYDROLYSE DU LACTOSE ..... p 29

2.1. Hydrolyse chimique ..... p 29
2.2. Hydrolyse par enzyme libre ..... p 29
2.3. Le réacteur enzymatique à membrane .... p 30
2.4. Utilisation : produits gélifiés sucrés p 31
2.5. Utilisation en confiserie ..... p 31
2.6. Boissons de lactosérums ..... p 32

III - EXTRACTION DU LACTOSE ..... p 32

3.1. Fabrication du lactose ..... p 32
3.2. Produits obtenus ..... p 32
3.3. Utilisation ..... p 33

IV - EXTRACTION DE PROTEINES ..... p 33

4.1. Précipitation thermoacide ..... p 33
4.2. Précipitation à froid aux polyélectrolytes ..... p 33

4.2.1. Procédé à la carboxyméthyl cellulose ..... p 34
4.2.2.Procédé aux polyphosphates et au ferriphosphate ..... p 34
4.2.3. Autres polymères ..... p 34

4.3. Ultrafiltration ..... p 35

4.3.1. Les membranes ..... p 35
4.3.2. Prétraitement du lactosérum .. p 35
4.3.3. Paramètres d'ultrafiltration . p 36

4.4. Chromatographie d'échanges d'ions : procédé Sphérosil ..... p 37

4.4.1. Principe du procédé ..... p 37
4.4.2. Principes techniques ..... p 38

a) Lactosérums acides ..... p 38
b) Lactosérums doux ..... p 38

4.5. Utilisation ..... p 39

4.5.1. Propriétés fonctionnelles du rétentat ..... p 39

a) Solubilité ..... p 39
b) Moussage ..... p 40
c) Structuration ..... p 40
d) Gélification - Emulsification . p 40
e) Valeur nutritionnelle ..... p 40

4.5.2. Utilisation des jus lactosés . p 41

a) Concentré à 25 % ES ..... p 41

b) Concentré à 50-55 % ES ..... p 41
c) Concentré à 75-80 % ES ..... p 41

QUATRIEME PARTIE - FERMENTATION ET PRODUCTION DE CELLULES.-

I - PRODUCTION DE LEVURES : PROCEDE BEL INDUSTRIES ..... p 43

1.1. Procédé de fabrication ..... p 43
1.2. Levures lactiques ..... p 45

II - PRODUCTION DE LACTOPROTEINES LEVUREES : PROCEDE SF BP ..... p 45

2.1. Procédé ..... p 47
2.2. Produits obtenus ..... p 47

III - PRODUCTION DE CHAMPIGNONS FILAMENTEUX : PROCEDE SIREB-CALIQUA ..... p 48

3.1. Procédé ..... p 48
3.2. Produits obtenus ..... p 49

IV - UTILISATION DES PRODUITS DE FERMENTATION .... p 50

4.1. Levures lactiques ..... p 50
4.2. Lactoprotéines et champignons ..... p 50

CONCLUSION ..... p 51

-oOo-

I N T R O D U C T I O N

-oOo-

Longtemps considéré comme un sous produit du lait, le lactosérum est aujourd'hui reconnu comme un véritable produit de l'industrie laitière.

Historiquement, le lactosérum était destiné à l'alimentation des porcins, ou bien rejeté dans les rivières.

La disparition des petits élevages de porcs, la concentration de la production fromagère dans des unités de plus en plus importantes, la lutte contre la pollution des eaux, l'augmentation du coût de l'énergie, ont amené les industriels à trouver de nouvelles techniques et de nouveaux débouchés, pour ce qui a longtemps été "L'esgout des formages", ainsi appelé dans la Maison Rustique au chapitre de l'élevage du porc.

La récupération des constituants du lactosérum, sous ses aspects techniques et économiques, fait l'objet de ce travail.

P R E M I E R E P A R T I E

-oOo-

RAPPELS

-oOo-

I - FABRICATION DES LACTOSERUMS.-

Les lactosérums proviennent des fabrications de fromages et de caséines (cf tableau I). La production fromagère est la plus importante. Les ressources en matières sèches lactosérum sont estimées en 1979 : origine fromagère 418.000 tonnes d'extrait sec
origine caséine 55.000 tonnes d'extrait sec

Les fromages sont classés en plusieurs catégories selon leur mode de fabrication. On distingue ainsi :

- les fromages frais
- les fromages à pâte molle
- les fromages à pâte pressée non cuite
- les fromages à pâte pressée cuite
- les fromages fondus
- les fromages à pâte persillée.

D'où une grande variété de lactosérums, que l'on classe habituellement en deux catégories principales, les sérums doux et les sérums acides.

I.1. Les sérums acides.

Ils sont obtenus soit par fermentation lactique du lait
soit par précipitation acide de la caséine.

I.1.1. Précipitation de la caséine.

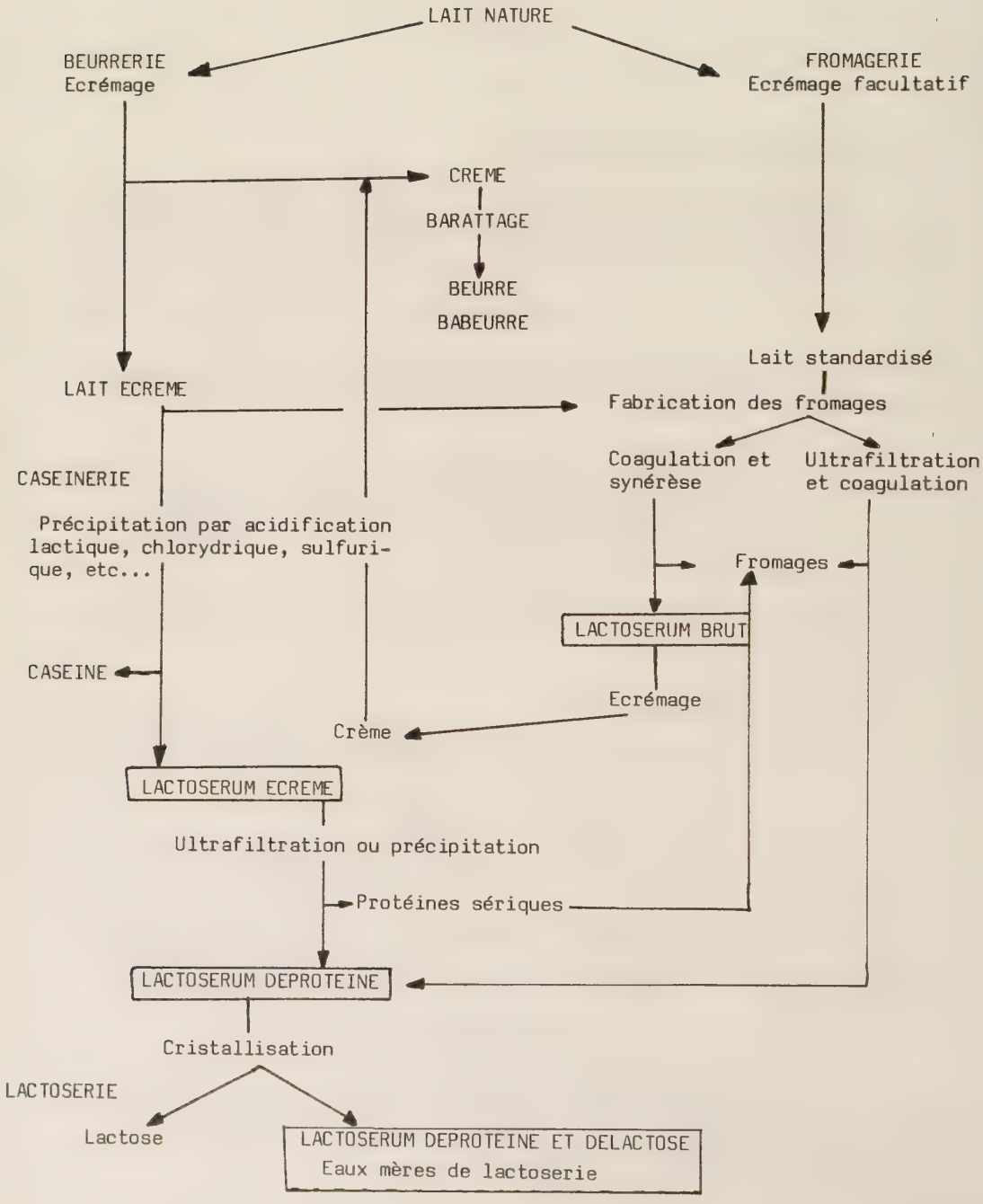
La caséine est obtenue par précipitation sous l'action de divers acides : lactique, chlorydrique, sulfurique...

La caséine est présente dans le lait, sous forme de micelles de phosphocaséinates de calcium. Par déminéralisation brutale, sous l'action de l'acide, la caséine pure précipite, ce qui conduit à l'obtention de sérums acides et minéralisés.

I.1.2. Fermentation lactique du lait.

Les ferments lactiques sélectionnés, abaissent le pH du lait par fermentation du lactose. Le pH obtenu, voisin de 4,6 correspond au point isoélectrique de la caséine. Les micelles de caséine ne sont plus alors en équilibre électrique, et s'agglutinent pour former le caillé lactique.

TABLEAU I


LAIT NATURE
BEURRERIE
Ecrémage
FROMAGERIE
Ecrémage facultatif
CREME
BARATTAGE
BEURRE
BABEURRE
LAIT ECREME
Lait standardisé
Fabrication des fromages
Coagulation et synérèse
Ultrafiltration et coagulation
CASEINERIE
Précipitation par acidification lactique, chlorydrique, sulfurique, etc...
Fromages
LACTOSERUM BRUT
CASEINE
Ecrémage
Crème
LACTOSERUM ECREME
Ultrafiltration ou précipitation
Protéines sériques
LACTOSERUM DEPROTEINE
Cristallisation
LACTOSERIE
Lactose
LACTOSERUM DEPROTEINE ET DELACTOSE
Eaux mères de lactoserie

I.2. Les sérums doux.

Ils sont obtenus par l'action de protéases (en l'occurence la présure) sur les micelles de caséine. La présure, agent biologique de la coagulation, est obtenue par macération de caillettes de veaux. C'est un mélange de diastases dont la chymosine. Son action spécifique, détermine la formation d'un gel présure, par action enzymatique puis physicochimique. A pH 5,3 à 6,3 et à une température de 25 à 35°C, la présure hydrolyse la caséine kappa en libérant la paracaséine kappa et la protéose de Hammartsen (disparition de la couronne électrique négative). Puis, toujours au dessus de 15°C, les caséines α, β et kappa s'unissent au calcium pour former le gel présure.

On obtient ainsi un sérum doux (pH 6,3 - 6,4) et peu minéralisé.

II - COMPOSITION DES DIFFERENTS LACTOSERUMS.-

La composition des principaux dérivés du lait, est rapportée au tableau 2. Quatre éléments sont à prendre en compte, pour les distinguer sur le plan de leur utilisation : ce sont les teneurs en protéines, en lipides, en acide lactique et en calcium. Ce qui conduit à la notion de produits nobles, riches en protéines : lait et babeurre, par opposition aux lactosérums, mais aussi à la notion de produits acides et fermentés : babeurre et lactosérums lactiques par opposition au lait écrémé et aux lactosérums doux.

La composition moyenne des lactosérums est indiquée au tableau 3. La coagulation par la présure et l'égouttage forcé, conduit à des sérums doux, riches en lipides, en protéines vraies, en acide citrique et pauvres en calcium.

En revanche, la coagulation de la caséine sous l'effet des fermentations lactiques, conduit à des sérums acides moins riches en protéines et deux à trois fois plus fournis en calcium.

Cependant, de nombreuses fabrications associent les deux modes de préparation, d'où un important groupe de sérums dits mixtes, ayant une composition intermédiaire.

De plus, la plupart des sérums sont écrémés après la fabrication des fromages, et il est plus intéressant de les comparer sur la base de leur teneur en matière sèche délipidée, ce qui apparaît au tableau 4.

L'analyse de la fraction azotée, montre que la part des protéines vraies, diminue à mesure que le type lactique s'accentue.

Cependant, si les formes protéiques sont dégradées, les teneurs en acides aminés sont peu modifiées (cf tableau 5).

TABLEAU 2.

COMPOSITION MOYENNE DU LAIT ET DE SES DERIVES
EN g/l

	LAIT DE VACHE	LAIT ECREME	BABEURRE	LACTOSERUM	
				LACTIQUE	PRESURE
MATIERE SECHE	127	96	82	64	73
LIPIDES	37	1	9	1	6
MAT SEC DELIPIDEE	90	95	73	63	67
PROTEINES BRUTES (N x 6,38)	36	36	28	6	9
LACTOSE	49	52	35	44	52
ACIDE LACTIQUE	0	0,2	6,9	7,8	0,3
ACIDE CITRIQUE	1,8	1,4	0,2	0,2	1,3
MATIERES MINERALES	7	8	6	8	5
CALCIUM	1,1	1,3	1,0	1,4	0,4
PHOSPHORE	0,8	0,9	0,7	0,7	0,4
SODIUM	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
POTASSIUM	1,5	1,4	1,1	1,5	1,5

FEVRIER 1977.

TABLEAU 3.

COMPOSITION DES DIVERS LACTOSERUMS LIQUIDES (g/l) VACHE			
TYPE DE CAILLE	PRESURE	MIXTE	LACTIQUE
DENSITE	1,0239	1,0247	1,0245
MATIERE SECHE	70,84	70,49	65,76
LIPIDES	5,06	3,38	0,85
MAT SEC DELIPIDEE	65,78	67,11	64,91
LACTOSE	51,81	50,84	45,25
AZOTE TOTAL	1,448	1,454	1,223
AZOTE NON PROTEIQUE	0,368	0,414	0,536
AZOTE AMONIACAL	0,041	0,090	0,140
AZOTE UREIQUE	0,141	0,095	0,070
ACIDE LACTIQUE	0,322	2,226	7,555
ACIDE CITRIQUE	1,298	1,095	0,260
CENDRES	5,252	5,888	7,333
PHOSPHORE	0,412	0,470	0,649
CALCIUM	0,466	0,630	1,251
POTASSIUM	1,455	1,491	1,485
SODIUM	0,505	0,537	0,528
CHLORURES NACL	2,195	2,208	2,092

FEVRIER 1977.

TABLEAU 4.

COMPOSITION DES LACTOSERUMS EN % DE LA MATIERE SECHE DELIPIDEE			
TYPE DE CAILLE	VACHE		
	PRESURE	MIXTE	LACTIQUE
EXTRAIT SEC DELIPIDE	100	100	100
LACTOSE	78,76	75,76	69,71
AZOTE TOTAL (N)	2,20	2,17	1,88
PROTEINES BRUTES (N x 6,38)	14,04	13,82	12,02
PROTEINES BRUTES (N x 6,25)	13,75	13,56	11,75
AZOTE NON PROTEIQUE	0,56	0,62	0,83
AZOTE AMONIACAL	0,06	0,13	0,22
AZOTE UREIQUE	0,21	0,14	0,11
ACIDE LACTIQUE	0,49	3,32	11,64
ACIDE CITRIQUE	1,97	1,63	0,40
CENDRES	7,98	8,77	11,30
CALCIUM	0,71	0,94	1,93
PHOSPHORE	0,63	0,70	1,00
POTASSIUM	2,21	2,22	2,29
SODIUM	0,77	0,80	0,81
CHLORURES MACL	3,34	3,29	3,22

FEVRIER 1977.

TABLEAU 5.

COMPOSITION EN ACIDES AMINES DES LACTOSERUMS ET DERIVES (g/16g N)						
	LAIT	L A C T O S E R U M S				
	DE VACHE	DOUX	ACIDE	DE LACTOSE	DEMINERALISE	DEPROTEINE (Ultrafiltration)
THREONINE	4,60	5,80	5,70	9,90	6,68	0,72
VALINE	7,15	7,81	5,29	7,37	6,39	0,92
ISOLEUCINE	5,75	5,85	5,75	8,22	6,34	0,92
LEUCINE	10,00	9,58	8,94	7,37	10,66	1,16
TYROSINE	5,10	2,73	2,67	1,68	3,20	0,48
PHENYLALANINE	5,35	3,00	2,90	2,70	3,59	0,58
METHIONINE	2,60	1,76	1,74	2,00	1,95	0,19
CYSTINE	0,90	2,10	2,11	-	2,45	0,15
LYSINE	8,50	8,57	8,50	4,88	9,33	1,94
HISTIDINE	2,90	1,65	1,92	1,83	1,70	0,48
ARGININE	3,55	2,35	2,26	1,85	2,66	0,44
TRYPTOPHANE	1,47	1,10	-	-	-	0,15
MAT AZOT % MS	36,00	12,10	11,50	16,80	16,90	0,20
AAI équilibrés	52,5	49,5	48,5	56,1	54,9	8,13

PION & PAUCONNEAU
1966

FEVRIER & JUIN 1977.

L' apport de lysine par les protéines du sérum, est certainement le plus intéressant, avec 8,5 % des protéines, puis vient la thréonine avec 5,8 %. En revanche, les teneurs en acides aminés soufrés, restent modestes avec 3,9 % des protéines. Ainsi, malgré son taux azoté faible, le lactosérum complémente bien les protéines de céréales dont les teneurs en lysine, thréonine, acides aminés soufrés sont respectivement de 3 à 4 %, 3 à 3,5 %, et 4 à 5 %.

La fraction minérale, varie beaucoup pour le calcium, et le phosphore, qui restent en partie dans le caillé. Le sodium et le potassium, ainsi que les chlorures, en grande partie solubles, se retrouvent dans le sérum (rôle du salage en cours de fabrication).

III - IMPORTANCE ECONOMIQUE.-

Le marché laitier européen et mondial ne cesse de se restreindre. Il est donc de plus en plus difficile, de valoriser correctement le lait en utilisant seulement une partie de ses composants. L'industrie laitière est donc condamnée, à utiliser l'ensemble des éléments du lait, y compris le lactose et les protéines.

Le lactosérum en France en 1979 (chiffres fournis par le SYLACT).

Production fromagère : hors fromages fondus	1.067.500	tonnes
Caséine et dérivés	29.827	"
Ressources en matière sèche lactosérum	473.000	"
Production de lactosérum sec	276.000	"
Production de lactose	12.000	"
Soit une transformation du lactosérum de ...	288.000	tonnes
Excédents (porcs et rejets)	185.000	"

L'industrie laitière dispose donc, de 185.000 tonnes de matières sèches lactosérum peu ou mal utilisées, qui représentent de grandes possibilités de développement. Mais il faut aussi tenir compte, d'une possible transformation des techniques de récolte du lait, qui pourrait influer sur la qualité et la quantité du produit final.

L'ultrafiltration à la ferme est une nouveauté des plus importantes, qui si elle était appliquée sur une grande échelle, provoquerait une chute du volume actuel des quantités de lactosérums disponibles de l'ordre de 35 à 50 %. Cependant, cette évolution qualitative ne devrait pas atteindre des proportions critiques avant longtemps.

Aspects statistiques.

En quinze ans, la production de lactosérum en poudre et lactose, est passée de 20.000 tonnes à 340.000 tonnes en 1980, qui se répartissent ainsi :

Poudre de lactosérum doux	215.000 tonnes	67,6 %
Poudre de lactosérum acide	48.000 tonnes	15,1 %
Poudre ayant subi une extraction (délactosé, déprotéiné, déminéralisé)	33.000 tonnes	10,4 %
Poudre ayant subi une adjonction (surprotéiné, réengraissé, levuré)	22.000 tonnes	6,9 %

Peu de statistiques précises, permettant d'estimer la répartition des produits par leur utilisation sont publiées. Nous utiliserons donc, les estimations du SYLACT (Syndicat des Transformateurs de Lactosérum), publiées en 1979 :

Aliments d'allaitement pour veaux	110.000 tonnes
Alimentation humaine	22.000 tonnes
Autres aliments du bétail	28.000 tonnes

Les exportations 1979 sont estimées à 150.000 tonnes.

D E U X I E M E P A R T I E

-oOo-

LES LACTOSERUMS NON MODIFIES

-oOo-

I - LE LACTOSERUM BRUT LIQUIDE.-

I.1. Obtention.

A la sortie de la chaîne d'égouttage, le sérum est tamisé, clarifié, éventuellement écrémé, puis refroidi à une température inférieure à 10°C, voire 5 à 6°C, si les temps de stockage et de transport sont relativement longs.

Sur le plan technique, cette étape ne présente aucune difficulté, et reste valable pour tous les types de sérums natifs.

I.2. Matière intermédiaire.

Le lactosérum liquide est la première étape de tout un processus de transformation : concentration, séchage, extraction de composants.

I.3. Alimentation des porcs.

Le lactosérum liquide, est, ramené à sa valeur énergétique, l'aliment le moins cher, mais aussi le plus difficile à manier d'un point de vue sanitaire.

I.3.1. Digestion du lactose du lactosérum.

L'absence de lipide dans le sérum est sans importance pour le porc et le déficit en protéines est moindre que pour le porcelet, en raison de l'apport de lysine, disponible à 98 %. Le facteur limitant est le lactose, car l'activité de la lactase intestinale n'augmente plus après le sevrage (47), même en présence de lactose (12, 14) à la différence des veaux.

Le lactose non hydrolysé par la muqueuse intestinale, est rapidement fermenté par la flore intestinale et colique ; d'où l'importance d'une adaptation progressive à ce type de régime, pour éviter les risques pathologiques. La flore produit alors de l'acide lactique, puis des acides gras volatils qui sont utilisés par le porc comme nutriment énergétique (28).

I.3.2. Conditions d'utilisation.

a) Porc à l'engrais.

Pour un régime à 4-4,5 % de cellulose brute, et des taux d'introduction de 20 à 40 %, la valeur énergétique moyenne du

lactosérum, ressort à 3.460 kcal/kg MS (février INRA 1977).

Dès le sevrage, on peut donc utiliser des régimes à 40 % de lactose, soit environ 60 % de lactosérum, mais pour le porc en finition de 80 à 100 kg, il ne faut pas dépasser 25 % de lactose soit 35 % de lactosérum sans admettre une diminution notable des performances zootechniques.

L'apport minéral excessif des lactosérums, peut expliquer les mauvais résultats parfois obtenus. En fait, il semble que ce soit le déséquilibre entre les anions et les cations, plus que l'excès global de minéraux qui est préjudiciable aux animaux. Ainsi, est-il parfois nécessaire, de reéquilibrer la ration en apportant du carbonate ou du bicarbonate de sodium.

b) Porcelets.

Les porcelets valorisent très bien le lactosérum, jusqu'à des régimes contenant 50 % de lactosérum. Cependant, chez le jeune, des proportions supérieures à 20 % de matière sèche sérum sur la matière sèche totale, sont impossibles à obtenir, car le facteur limitant est alors l'excès d'eau.

c) Les effluents de porcherie.

La charge polluante moyenne du lactosérum est de :

DBo_5 35.000 DCO 59.000 en mg/ml

Les valeurs moyennes des effluents de porcherie sont de :

DBo_5 8.000 DCO 18.300

Ce qui correspond à un niveau de 23 % pour la DBo_5 et de 31 % pour la DCO.

En fait, les travaux de BALLAY et STAMBOULI (5) montrent que, lors d'engraissement de porc, la charge polluante diminue de 74 à 80 % pour un taux d'utilisation du lactosérum voisin de 30 % de la matière sèche de la ration. Le porc est donc un excellent agent biologique d'épuration.

d) Conclusion.

La faible teneur en matière sèche du lactosérum, limite en fait son emploi à des porcheries très proches des laiteries, en raison du coût élevé de son transport à la ferme.

I.4. Alimentation des Ruminants.

I.4.1. Digestion dans le rumen.

Dans le rumen, le lactose est rapidement dégradé en acide lactique, lui-même métabolisé en acides gras volatils, dont une part importante sous forme d'acide butyrique. Cette métabolisation

est quasi complète, quand la population microbienne a été progressivement adaptée à recevoir du lactose, et quand l'ingestion est étalée dans le temps pour éviter l'acidose par abaissement du pH. Le lactose améliore l'utilisation de l'azote non protéique dans le rumen, sans augmentation de l'ammoniaque, si le lactose et l'urée sont proportionnellement disponibles en même temps ; d'où l'augmentation de la synthèse protéique microbienne. La dégradation des protéines du lactosérum, diminue leur digestibilité apparente, à la différence du veau préruminant (jusqu'à 94 % de digestibilité)(17). Il semble donc plus intéressant d'utiliser ces protéines dans l'alimentation du monogastrique après ultrafiltration, compte tenu de leur qualité.

La digestion dans l'intestin n'existe que lorsque le réflexe de fermeture de la gouttière oesophagienne est maintenu (18), comme chez le veau préruminant.

La digestibilité varie selon le taux du lactosérum dans la ration, et ressort en moyenne à 82 % chez les bovins. La digestibilité des matières azotées est de l'ordre de 70 %, celle des constituants membranaires de la ration étant légèrement réduite. La valeur énergétique du lactose, est légèrement inférieure à celle de l'orge (1,08 UFL et 1,14 UFV par kg de matière sèche).

La présence du lactose favorise l'utilisation digestive du magnésium, du calcium et indirectement du phosphore (38).

1.4.2. Utilisation du lactosérum.

Selon un essai américain (3), les vaches laitières peuvent boire jusqu'à 90 litres par jour de lactosérum liquide, mais la production de lait, de matières grasses, de protéines, a tendance à diminuer.

En France, REMOND et al (41), ont observé des consommations moyennes de 36 à 86 litres par jour en fonction de l'âge, de l'état de production et du type de ration. Associé à l'ensilage de maïs, en remplacement de l'aliment concentré, la production de lait est restée dans des différences non significatives, alors que la matière grasse a toujours eu tendance à augmenter.

La vache laitière peut donc consommer des quantités importantes de lactosérum. Des essais supplémentaires sont nécessaires pour préciser les conditions de distribution, selon l'âge, la production, le stade physiologique. Mais la prudence doit demeurer, car on ne dispose pas d'informations précises, sur les conséquences d'une ingestion importante et prolongée de lactosérum (et surtout des minéraux), sur les performances de reproduction de la vache laitière.

II - LE LACTOSERUM PRECONCENTRE.-

2.1. Procédé.

2.1.1. Principe.

Les circonstances économiques actuelles imposent la préconcentration, pour éviter le transport de grandes quantités d'eau, depuis la fromagerie jusqu'aux ateliers de transformation et de séchage.

En théorie, l'industriel devrait concentrer le plus possible les sérums qu'il traite, pour diminuer les frais inhérents à ce type de production. Cependant, la nature même du produit, ainsi que la concentration finale imposent des limites. Pratiquement, il n'est pas recommandé de dépasser 30 % de matière sèche. Au-delà, apparaissent des phénomènes de cristallisation et d'augmentation de viscosité, particulièrement avec certains sérums, qui peuvent gêner considérablement toute manutention (dépôts dans les tanks, obstruction des canalisations, blocage des pompes...).

Avec les sérums acides, et particulièrement ceux de caséine chlorydrique, des préconcentrations à 30 % de matière sèche ne posent aucun problème.

Avec les sérums doux, de telles concentrations sont à envisager avec prudence. En effet, on observe parfois des phénomènes de tixotropicité très perturbants. Par ailleurs, si l'on veut déminéraliser ou ultrafiltrer le sérum, des concentrations à 18 % de matière sèche sont à ne pas dépasser.

Ensuite, la réfrigération est indispensable pour assurer la conservation de ces produits. Mais la concentration et l'abaissement de la température, favorisent la cristallisation, qui doit être évitée. Aussi, les sérums doux sont-ils refroidis entre + 4 et 10°C, alors que les sérums acides sont conservés à environ 15°C, leur pH bas limitant l'évolution bactériologique.

2.1.2. Technique.

La préconcentration est effectuée par différents appareils, selon l'équipement des entreprises.

L'évaporation sous vide est réalisée, soit avec des appareils à plaques, soit le plus souvent, dans des évaporateurs à faisceaux tubulaires et à effets multiples.

Un appareil triple effet avec thermocompresseur, consomme environ 250 g de vapeur au kilo d'eau évaporée. Avec la récompression mécanique des vapeurs, on obtient des sérums contenant 30 à 35 % de matière sèche, ce qui convient parfaitement pour les sérums acides.

Pour les sérums doux, il est préférable d'utiliser la technique d'osmose inverse ou hyperfiltration qui, moins con-

sommatrice d'énergie, conduit à des sérums titrant 15 à 20 % d'extrait sec.

2.2. Utilisation en alimentation animale.

Ce qui a été dit au chapitre précédent reste valable. L'intérêt du lactosérum préconcentré, réside dans le fait qu'il élimine l'excès d'eau en début de croissance. Les réponses, à l'augmentation du taux de matière sèche sérum par rapport à la matière sèche totale, sont de même nature en ce qui concerne la croissance et l'efficacité alimentaire, qu'en ce qui concerne la qualité des carcasses (42, 13).

Il faut cependant diluer le lactosérum préconcentré, pour former un aliment concentré à 10 % d'extrait sec, qui est mélangé ensuite à l'aliment pour faire la soupe. Le problème se pose donc davantage en termes de côut, et de technologie, qu'en termes de nutrition. L'avantage du lactosérum préconcentré, étant qu'il se conserve facilement plusieurs jours, où même plusieurs semaines (31). Toutes ces considérations sont valables, pour l'élevage bovin et porcin, qui peut utiliser le lactosérum préconcentré à la place du lactosérum brut liquide, selon les conditions économiques et techniques, propres à chaque élevage.

III - LE LACTOSERUM CONCENTRE.-

Il recouvre tous les sérums contenant plus de 55 % d'extrait sec.

3.1. Technique générale.

Elle utilise un appareil d'osmose inverse (15 % extrait sec), suivi d'un évaporateur à faisceaux tubulaires et à effets multiples, associé à une recompression mécanique des vapeurs, qui conduit à un produit contenant 30 à 35 % d'extrait sec. Ensuite, le finisseur à thermocompresseur donne un produit final souvent instable titrant 55 à 60 % d'extrait sec.

3.2. Procédé DYNALAC.

Mis au point par l'U.C.A.A.B. (Union des Coopératives fabricant les Aliments du bétail), il permet d'obtenir un produit :

- contenant 60 à 70 % de matière sèche;
- épais et visqueux, mais susceptible d'être pompé;
- stable physiquement (sans décantation);
- stable bactériologiquement;
- sans modification de sa composition chimique.

Au cours de l'hiver 1976-1977, 2.500.000 litres de lactosérum ont ainsi été traités. Ce procédé, contrôlé par brevet,

traite tous les lactosérums, et présente un intérêt maximum pour les sérums d'acidité variée, qui sont toujours mal valorisés à l'état de poudre.

La mise en oeuvre fait appel à du matériel classique de laiterie (cf schéma). Le procédé comporte une phase de préparation originale (sans consommation d'énergie), qui peut s'effectuer dans les tanks de stockage du lactosérum brut.

La phase de concentration lui fait suite. Elle peut s'effectuer en un seul temps, dans des évaporateurs à triple effet sans finisseur, comme dans des installations plus sophistiquées. Seuls, les évaporateurs à flots tombants conviennent. A la sortie du concentrateur, le liquide est recueilli dans une cuve de finition, où s'effectue un traitement faisant partie également des aspects originaux du processus. Ce traitement est discontinu, mais suffisamment rapide, pour qu'en faisant appel à deux cuves de finition d'un volume adapté au débit du concentrateur, ce dernier puisse fonctionner en continu sans difficulté.

3.3. Alimentation des volailles.

Une série d'expérimentations a été réalisée sur les poulets de chair par la firme UNICOPA, avec des aliments composés contenant du lactosérum concentré. Celui-ci a été utilisé, en remplacement du lignosulfite de calcium, agent agglomérant des aliments gras.

Les essais de granulation ont déterminé l'équivalence du pouvoir liant du lactosérum concentré à 50 % et du lignosulfite. Ainsi, alors qu'il faut 1,6 % de lignosulfite dans l'aliment, il faut 3 % de lactosérum concentré, mais cela permet une diminution de 1,4 % de maïs grain dans l'aliment, sans que la substitution soit totalement isoénergétique.

L'expérimentation est menée avec deux lots de poulets de chair, et trois sortes d'aliments : démarrage, croissance, engraissement.

Les résultats d'engraissement des animaux, sont analysés sous la forme d'un indice de productivité (IP), regroupant les critères de viabilité, d'indice de consommation (IC) et de gain moyen quotidien (GMQ).

On obtient :

$$IP = \frac{\text{viabilité en \% x GMQ}}{IC \times 10}$$

qui est supérieur dans le cas des lots essais, par rapport aux témoins. Ce qui se traduit par :

- une viabilité supérieure de 0,7 % en faveur des essais
- une vitesse de croissance significativement supérieure pour les lots d'essais

- un indice de consommation légèrement en faveur des lots témoins mais non significatif.

La substitution technique et économique est ici intéressante.

3.4. Alimentation des bovins.

Le lactosérum concentré, peut être utilisé comme constituant des suppléments liquides pour ruminants. La concentration classique ne permettait pas l'incorporation du lactosérum dans les aliments du bétail, car rapidement la teneur en eau dépassait le taux légal des 14 % d'humidité, et qu'il y avait augmentation des risques de mauvaise conservation.

3.4.1. Utilisation du lactosérum concentré dans les aliments du bétail.

Grâce au procédé DYNALAC qui permet d'obtenir des lactosérums stables, concentrés à 60 % de matière sèche, des essais ont été entrepris, pour la fabrication d'aliments du bétail, en remplaçant la mélasse par du lactosérum. Les travaux menés sous l'égide du Ministère de la Culture et de l'Environnement par l'U.C.A.A.B., ont permis la fabrication d'aliments contenant jusqu'à 10 % de lactosérum concentré.

Il est apparu, que la teneur réelle en eau des aliments ne correspondait pas au calcul théorique. C'est ainsi, que théoriquement, le seuil d'incorporation maximum est de 6 à 7 %, alors qu'avec 9 à 10 % de lactosérum concentré, on ne dépasse pas dans la pratique le seuil des 14 % d'humidité, ceci pour les aliments granulés. Le phénomène ainsi mis en évidence, pourrait s'expliquer par un changement d'état du lactose dans la presse, avec fixation d'eau de cristallisation. Par ailleurs, la conservation et la consommation des aliments par les animaux ont été normales . On peut donc affirmer, au vu de ces travaux, que l'incorporation dans les aliments du bétail de lactosérum concentré à 60 % de matière sèche, ne pose pas de problèmes technologiques très différents, de ceux qu'on rencontre lors de l'incorporation de mélasse. Avec des matières premières suffisamment sèches, avec une concentration du lactosérum atteignant 60 %, les taux d'incorporation maximum admissibles sont de 6 à 7 % pour les aliments en farine et de 10 % pour les aliments granulés.

Dans cette utilisation, le lactosérum apparaît comme un concurrent direct de la mélasse, qui est incorporée dansles aliments pour animaux à un taux moyen de 3 %. Le lactosérum et la mélasse ne présentent pas d'avantages techniques respectifs bien décisifs. L'arbitrage pour l'industriel, se fera donc au niveau des prix, et des conditions d'approvisionnement.

Ici, comme avec beaucoup d'autres produits issus du lactosérum, les technologies sont prêtes, les débouchés existent, mais les coûts de fabrication atteignent des seuils tels, que le passage au stade industriel par les utilisateurs se fait très lentement.

3.4.2. Utilisation du lactosérum liquide dans les suppléments liquides.

Concentré à 60 % de matière sèche, le lactosérum ne pose pas de problèmes technologiques qui ne se réduisent à un mélange de liquides simples. Ce débouché reste encore modeste en France. En 1976, année où la sècheresse a favorisé ce type d'alimentation, on estime la production à 20 - 30.000 tonnes d'aliments. A des taux d'incorporation de 50 %, le marché actuel pourrait absorber 25 à 35.000 tonnes de lactosérum concentré à 50% de MS, soit 250 à 350.000.000 de litres de lactosérum natif. De plus, ce marché est susceptible d'un important développement, comme cela s'est passé aux Etats-Unis.

IV - LES LACTOSERUMS EN POUDRE.-

C'est actuellement la transformation la plus importante des lactosérums.

4.1. Techniques.

4.1.1. Procédé Spray.

Les tours de séchage peuvent fonctionner avec tous les types de lactosérum. Mais, sur le plan énergétique, la tour d'atomisation est un appareil à faible rendement. En effet, une tour dans laquelle, l'air de séchage est chauffé à la vapeur par l'intermédiaire d'une batterie, consomme environ 2,5 kilos de vapeur par kilo d'eau évaporée, soit 10 fois plus qu'un évaporateur sous vide. D'où l'intérêt de travailler sur des sérums les plus concentrés possibles, de l'ordre de 50 à 70 %, ce qui peut être obtenu avec un finisseur à thermo-compresseur. Mais ceci n'est possible que si le séchage a lieu directement à la sortie de l'évaporateur, car le refroidissement et le début de cristallisation de ces concentrés provoquent une importante augmentation de la viscosité, qui peut amener à une prise en masse du produit.

4.1.2. Procédé Hatmaker.

Ce système, peu courant en France, consiste à faire s'écouler le lactosérum sur deux rouleaux creux chauffés à la vapeur d'eau. Après évaporation et adsorption du lactosérum sur les cylindres, on récupère la poudre par grattage continu des tubes. Souvent, la structure du grain de poudre est modifiée, ce qui altère la solubilité future du produit.

4.2. Utilisation dans l'alimentation des veaux.

La poudre de lactosérum représente 11 à 12 % des aliments d'allaitements pour veaux. Ce pourcentage ne paraît pas devoir évoluer en raison de l'obligation règlementaire d'incorporer 60 % de poudre de lait écrémé.

5.2.1. Digestion du lactose.

a) Transit digestif.

Quand les protéines de l'aliment proviennent du lait, le lactose quitte la caillette beaucoup plus rapidement que les protéines et les lipides ; ainsi, par rapport aux quantités totales franchissant le pylore, au cours des 12 heures qui suivent le repas, 86 % des substances réductrices et seulement 54 % des protéines sont déjà parvenues dans le duodénum à l'issue des 4 premières heures (49). Quand les protéines du lait sont remplacées par des protéines de substitution qui ne coagulent pas dans la caillette, la vidange stomacale du lactose est peu modifiée, contrairement à celles des lipides et des protéines, qui sont le plus souvent accélérées (49, 18).

L'absorption du lactose a lieu principalement dans le jéjunum, puisque seulement 7 à 8 % des substances réductrices ingérées sont retrouvées à la fin des six premiers dixièmes du jéjunum (36).

b) Digestion enzymatique.

L'équipement glycolytique du veau est relativement réduit. Seule, la lactase intestinale située dans la bordure en brosse de la muqueuse est présente en quantité importante dès la naissance. La lactase est très active dans le premier tiers de l'intestin grêle, beaucoup moins dans le second, et très peu dans le troisième. Les quantités trouvées d'enzyme, diminuent au cours de la première semaine, restent relativement stables jusqu'à 8 semaines, diminuent à nouveau par la suite, mais demeurent plus importantes chez le veau préruminant que chez le veau sevré (48, 25).

L'enrichissement du lait en lactose entraîne une augmentation de l'activité lactasique de l'intestin grêle (26). La lactase est très sensible aux troubles digestifs, car ceux-ci altèrent souvent la muqueuse intestinale.

c) Digestion microbienne.

Elle est normalement peu importante. Il faut de très grandes quantités de lactose pour qu'une fermentation microbienne intense soit observée au niveau du caecum et du gros intestin (26).

d) Pouvoir diarrhéique.

RAVEN et ROBINSON (37) n'ont pas constaté d'accroissement de la fréquence des diarrhées en distribuant des laits contenant 67 % de lactose de la matière sèche, entre l'âge de 3 et 20 jours.

En revanche, ROJAS et al (45) ont provoqué des diarrhées en ajoutant 55 à 59 g de lactose par kg d'aliment, dans du lait distribué à des veaux de 6 semaines. Ces diarrhées pourraient être dues à une saturation des mécanismes de transport actif du glucose et du galactose. L'accumulation de glucides solubles très

fermentescibles dans l'intestin, favorise le développement d'une microflore, donnant naissance à une importante quantité d'acides organiques de faible poids moléculaire (50).

En fait, la distribution des aliments classiques jusqu'au poids vif de 150-170 kg, ne devrait pas entraîner l'ingestion excessive de lactose eu égards aux capacités de digestion et d'absorption de l'animal. En revanche, leslimites digestives pourraient être dépassées chez les veaux très lourds ; compte tenu notamment de la diminution de l'activité lactasique de l'intestin grêle, il apparaît peu judicieux de remplacer les lipides par du lactose dans les aliments de finition.

e) Utilisation digestive.

Le lactose présente une utilisation digestive très élevée de 95 à 98 % (MATHIEU et ODORICO APRIA; 1963).

4.2.2. Utilisation du lactosérum.

Il paraît difficile de dépasser 15 % de poudre de lactosérum dans un aliment d'allaitement classique de croissance, dans lequel on veut maintenir 24 % de protéines et 18 % de matières grasses. En dessous de ces taux, il se produit un effet dépressif sur la croissance et l'efficacité alimentaire.

La teneur relativement élevée en minéraux notamment en chlorures et potassium pourrait avoir un effet laxatif (7).

De même, la teneur parfois élevée en acide lactique provoque une baisse de l'appétit quand il représente 2 % de la matière sèche de l'aliment. Cependant, ROBERT et ODORICO n'observent aucune différence significative entre les lactosérums doux, doux acidifié, doux déminéralisé et acide.

4.3. Utilisation en alimentation humaine.

4.3.1. Produits de cuisson céréaliers.

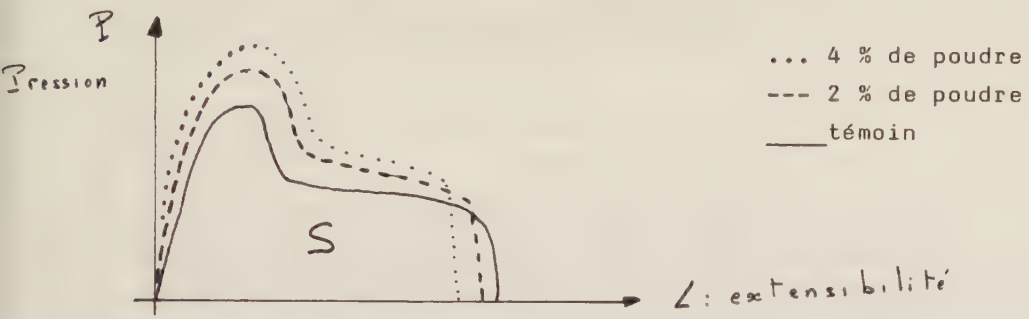
Les lactosérums doux et leurs produits dérivés ont largement pénétré le secteur des produits de cuisson à base de céréales, destinés à l'alimentation humaine. Cette percée n'en reste pas moins modeste puisque ce marché a représenté 4.000 tonnes de poudre en 1980.

Les lactosérums doux, affinent la texture des articles cuits et accentuent la coloration de surface de ceux-ci (intensité de la réaction de Maillard due à la présence de lactose). De plus, ils permettent de substantielles économies sur des matières premières "maillardisantes" comme les extraits de malt, toujours coûteux.

a) Utilisation en panification.

Pour les pains de mie, biscottes et pains grillés, l'industriel recherche des farines de froment, qui soient tenaces,

extensibles et résistantes. Ces caractéristiques sont déterminées dans l'alvéographe de CHOPIN. Un pâton d'eau et de farine est déformé par insufflation d'air. La courbe de cette déformation en fonction du temps, détermine les indices suivants :



- La mesure de la surface S correspond à W : travail nécessaire (en ergs/g de pâte) pour déformer le pâton jusqu'à éclatement
- Une farine riche en protéines insolubles présente un W élevé
- Une farine pauvre en protéines insolubles, présente un W faible.

Or, une poudre de lactosérum à 3 % d'humidité, pH = 6,4, acidité 15°D, augmente la ténacité de la pâte (donc le W), et diminue l'extensibilité. Le lactosérum améliore donc la farine, pour la panification, d'une manière analogue à l'acide ascorbique. En effet, les processus de panification impliquent d'hydrater fortement les protéines du froment, et de les soumettre à une action mécanique (pétrissage, tel qu'après gonflement, les protéines se lient et constituent un réseau protéique suffisamment homogène, pour retenir le gaz carbonique en cours de fermentation).

Pour des raisons techniques, il ne faut pas dépasser 3 % de poudre de lactosérum dans la farine pour ne pas trop diminuer l'extensibilité de la pâte.

b) Utilisation en biscuiterie.

A l'inverse du panificateur, le fabricant de biscuit sec, recherche une farine pauvre en matière protéique de manière à ce que la pâte formée soit la plus inerte possible et possède le minimum d'élasticité lors des traitements de laminage ; ainsi que la rétraction la plus faible possible après découpe des pâtons. Or, si on laisse reposer au moins deux heures les pâtons fabriqués avec du lactosérum, on s'aperçoit que pour des teneurs inférieures à 4 % en poudre de lactosérum, l'extensibilité de la pâte augmente tout en diminuant le W. En outre, la consistance des pâtes en fin de pétrissage est diminuée en présence de lactosérum, c'est-à dire que la formation de la pâte est facilitée, l'énergie à mettre en oeuvre moindre et les pâtes plus tolérantes à un surpétrissage.

Donc, en biscuiterie sèche, l'emploi du lactosérum à une dose de 2 à 2,5 % de la farine, se révèle bénéfique, car il diminue la rétraction des pâtes, et améliore l'état de surface des produits, leur couleur, leur friabilité, en apportant un goût agréable. Une utilisation secondaire en biscuiterie montre que les lactosérums dilués dans de l'eau constituent d'excellents agents de dorage, lorsqu'ils sont enduits à la surface des pâtons avant la cuisson.

4.3.2. Produits de charcuterie, de salaisons et conserves de viandes.

a) Propriétés du lactose et des protéines.

Le lactosérum fait partie des ingrédients autorisés et utilisés comme liants dans certains produits de charcuterie, où il devient un concurrent du blanc d'oeuf et de la poudre de lait. Les liants représentent 1 à 4 % des constituants d'un produit de charcuterie (9). Les travaux conduits à l'A.D.R.I.A. (1), sur les protéines du lactosérum, ont démontré que la température de gélification du lactosérum est supérieure à celle du blanc d'oeuf ; de façon générale elle diminue quand la teneur en protéines augmente, ce qui confirme l'effet protecteur du lactose lors de la coagulation.

Le lactose grâce à son pouvoir réducteur favorise la formation et la stabilité de la couleur rose des produits de salaison (nitrosomyoglobine) et augmente la matière sèche des produits obtenus, car les ferments lactiques de la viande ne fermentent pas le lactose du lactosérum.

b) Utilisation.

Les lactosérums incorporés en substitution du blanc d'oeuf congelé et de la poudre de lait améliorent la stabilité des produits (séparation moins importante du gras et de la gelée) mais les performances globales restent inférieures à celles du blanc d'oeuf et de la poudre de lait.

Les résultats sont meilleurs, quand la teneur en protéines est plus élevée, car le lactosérum diminue la fermeté relative des produits. Les travaux de JACQUET montrent que le blanc d'oeuf congelé donne de meilleurs résultats en raison de sa basse température de coagulation, alors que le lactosérum est supérieur au blanc d'oeuf séché, du fait de la dénaturation des protéines de l'oeuf au cours du séchage.

Le lactosérum est donc surtout intéressant dans les produits de cuisson comme les pâtés, où ses propriétés liantes sont supérieures à celles du blanc d'oeuf et de la poudre de lait, quand la température de cuisson est plus élevée que la température de coagulation de ses protéines.

T R O I S I E M E P A R T I E

-oOo-

LES LACTOSERUMS MODIFIES

-oOo-

I - DESSALIFICATION.-

Les lactosérums issus soit de la fermentation, soit d'une acidification minérale doivent être neutralisés avant séchage et sont souvent de mauvaise qualité en raison de leur charge minérale excessive (jusqu'à 13 % de cendres sur l'extrait sec). Leur valorisation est toujours faible, voire nulle, les frais de concentration et de séchage étant parfois supérieurs au prix de vente du produit.

I.1. Techniques.

La dessalification des sérums acides s'obtient en général par électrodialyse et résines échangeuses d'ions, ce qui diminue en même temps l'acidité du produit. Cependant, les pertes en extrait sec sont souvent importantes, car ces techniques extraient des minéraux, mais aussi du lactose et les protéines qui passent dans les rejets et augmentent les charges polluantes. D'où l'utilisation d'un prétraitement du lait, qui permet une déminéralisation partielle du lait : la préacidification ionique. On emploie une résine cationique forte sous forme H, qui cède ses ions H^+ au lait et fixe des cations comme le calcium, le sodium et le potassium. La réaction se fait à pH 6-7 à froid et est bloquée à pH 4,9 pour éviter la floculation. Le caillage est obtenu par ajout d'une faible quantité d'acide chlorydrique ou sulfurique, jusqu'au pH de 4,5-4,6. Le lactosérum issu de ce traitement contient alors 8 % de matières minérales, moins de 3,5 % de chlorures exprimés en chlorure de sodium et une acidité de 35 à 40° Dornic.

I.2. Utilisation.

Les lactosérums déminéralisés à l'état brut, n'ont que peu d'utilisation en alimentation humaine, ils sont le plus souvent concentrés et séchés pour être incorporés dans les aliments sucrés à faible teneur en sodium.

De plus, les prix de revient de ces sérums ne sont pas compatibles avec l'économie des productions animales, où leur intérêt est faible.

I.2.1. Laits maternisés.

Le lait maternel reste pour l'espèce l'aliment privilégié. Cependant, la nécessité des laits de remplacement est une évidence qui n'a pas échappé au Ministère de la Santé, puisqu'un

arrêté, en date du 1er juillet 1976, règlemente les produits diététiques de l'enfance et, tout particulièrement, les aliments lactés maternisés pour nourrissons.

La composition du lait de vache par rapport au lait de femme montre un excès de caséine, de minéraux, de β lactoglobulines et une déficience en facteurs immunitaires, en lysozyme, en lactotransferrine, en oligosaccharides spécifiques et en lipides essentiels. D'où l'intérêt du lactosérum qui permet de pallier aux insuffisances du lait de vache.

a) Avantages liés à l'emploi du lactosérum.

Le sérum est une source privilégiée de protéines solubles, bien que le rapport albumine sur globuline soit inversé vis-à-vis des protéines du lait de femme. Il ne présente pas de caséine, et sa richesse en lactose lui permet d'augmenter la teneur en sucre du lait maternisé. De plus, il n'apporte pas de matière grasse d'origine laitière.

Pour les protéines, les fabricants d'aliments cherchent à augmenter le taux de protéines solubles en diminuant la caséine, de façon que l'équilibre caséine, protéines solubles se rapproche de 40 % et 60 %. Ces taux devraient améliorer la coagulation gastrique, le spectre des acides aminés, donc l'utilisation métabolique en réduisant la quantité totale de protéines, et les déchets.

L'augmentation du lactose, favorise surtout la digestion duodénale (la lactase étant présente chez le nourrisson à la naissance). Le lactose non hydrolysé se retrouve dans le colon et permet le développement d'une flore acidophile bénéfique.

De plus, le goût fade du lactose lié à son faible pouvoir sucrant, présente un avantage pour le sevrage et l'allaitement mixte en induisant de bonnes habitudes alimentaires.

En utilisant un sérum déminéralisé, on diminue la quantité totale de sels minéraux et surtout celle de sodium, tout en maintenant un rapport calcium-phosphore de l'ordre de 2/1. Cet équilibre doit éviter la surcharge rénale en sodium, en assurant une bonne répartition hydrique et en limitant les déséquilibres anions-cations au niveau sérique.

L'emploi du lactosérum dans les laits maternisés implique encore de nombreuses recherches pour approfondir les connaissances fondamentales sur le lait de vache, les lactosérums, mais aussi le lait de femme ; tout en reconnaissant les limites spécifiques d'ordre génétique et immunologique qui paraissent difficiles à franchir.

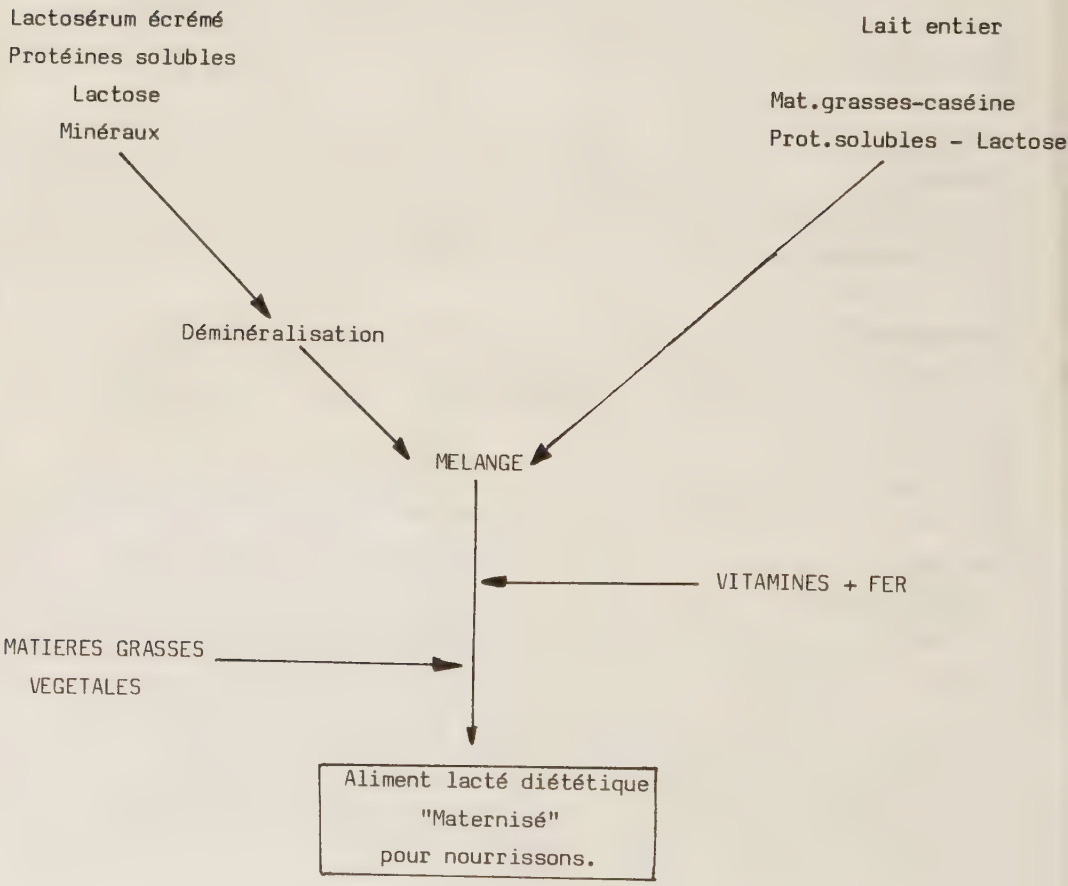
COMPOSITION DES LAITS DE FEMME ET DE VACHE

D'après MONYREUIL 1971 et BEZKOROUAIN 1977

en g/l.

	LAIT DE FEMME	LAIT DE VACHE
Extrait sec	120	125
Sels minéraux	2	8
Matières azotées totales	14	36
Protéines totales	11	33 - 34
Caséine	4,4	27
Protéines du lactosérum	6,6	6 à 8
α lactalbumine	3,4	1,2
β lactoglobuline	0	2,7
Sérum albumine	0,60	0,25
Immunoglobulines	1 à 1,5 surtout IG_A	0,6 à 0,7 surtout IG_G
Lactoferrine	1,4	0,2 - 0,3
Lysozyme	0,4	+
Sucres totaux	70 à 80	48
Lactose	65	48
Oligosaccharides	8 à 12	traces
Lipides	38	35
Acides gras essentiels	3,5	1

SCHEMA DE FABRICATION D'UN LAIT MATERNISE



II - HYDROLYSE DU LACTOSE.-

L'hydrolyse partielle ou totale du lactose présente un triple intérêt, nutritionnel, technologique et économique.

. Au plan nutritionnel.

On sait que le lactose, avant de franchir la paroi intestinale, subit une hydrolyse en glucose et galactose, par l'intermédiaire de la β galactosidase. La sécrétion de cet enzyme varie selon l'espèce, l'âge et diminue souvent après le sevrage. L'hydrolyse du lactose augmente donc l'ingestion du lactosérum par les animaux et permet aux êtres vivants déficients en β galactosidase l'absorption de produits lactés préalablement traités.

. Au plan technologique.

L'hydrolyse du lactose améliore le pouvoir sucrant, sans augmenter le pouvoir calorique et permet surtout d'éviter les phénomènes de cristallisation, observés en milieu concentré. En effet, la solubilité des produits d'hydrolyse est beaucoup plus élevée que celle du lactose. La conservation de lactosérums hydrolysés concentrés à 70 % - 80 % extrait sec est alors possible et évite le séchage.

. Au plan économique.

L'hydrolyse du lactose doit offrir à l'industrie laitière de nouveaux créneaux de commercialisation. Notamment dans le domaine des industries de seconde transformation comme la chocolaterie, la biscuiterie pour qui l'augmentation du pouvoir sucrant et du pouvoir réducteur des sucres est d'un très grand intérêt.

2.1. Hydrolyse chimique.

Elle se fait par passage sur résines échangeuses d'ions, mais nécessite des températures élevées, de l'ordre de 80-90°C. Si cette technique est envisageable pour des jus lactosés, elle est à proscrire pour les lactosérums en raison de la fragilité des protéines qui sont alors fortement dénaturées.

2.2. Hydrolyse par enzyme libre.

On utilise des enzymes d'origine microbienne (saccharomyces lactis) ou fongique (Aspergillus niger). En additionnant à 35°C, 300 mg d'enzyme par litre de sérum, on obtient une hydrolyse totale en deux heures ; à 4°C, il faut environ 24 heures. Les meilleurs résultats sont obtenus sur des sérums concentrés à 10-15 % d'extrait sec. Au-delà, la vitesse d'hydrolyse diminue, en raison de la cristallisation du lactose et de la chute du pH. L'inconvénient de ce traitement est son coût élevé, résultant de la perte de l'enzyme et de la haute qualité exigée pour celle-ci. En effet, le procédé nécessite une enzyme très purifiée, exempte

de protéases qui pourraient être responsables de mauvaises fermentations lors de la conservation.

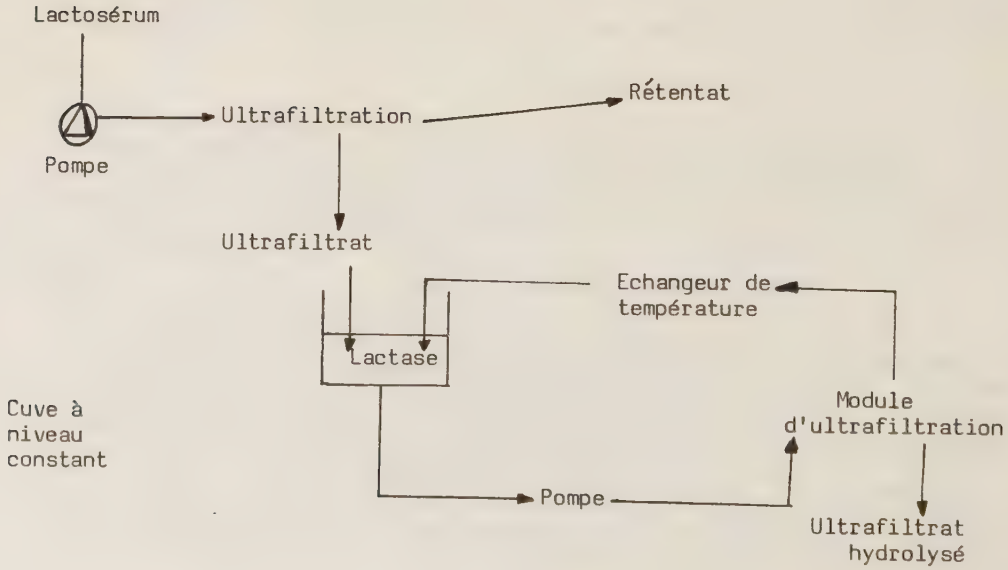
2.3. Le réacteur enzymatique à membrane.

Dans ce cas, l'enzyme n'est pas à proprement parler immobilisée, mais seulement maintenue sur une membrane d'ultrafiltration. Elle conserve les propriétés de l'enzyme libre.

L'enzyme solubilisée est, de par son poids moléculaire, retenue par la membrane, par contre le lactose des solutions à traiter ainsi que ses produits d'hydrolyse, étant de petite taille moléculaire, passent à travers la membrane. Il est possible d'alimenter le réacteur en continu. L'utilisation du réacteur nécessite la séparation préalable du lactose et des macromolécules du lactosérum. Il n'y a pas de risque de contamination bactérienne de la solution enzymatique, puisque les microorganismes ne traversent pas la membrane. Le seul problème réside dans l'instabilité minérale de l'ultrafiltrat à 30-36°C, qui peut colmater les pores de la membrane et diminuer le rendement du réacteur. Pour éviter cet inconvénient, il suffit de déminéraliser l'ultrafiltrat par électrodialyse, par précipitation du phosphate de calcium par la chaleur, ou bien par addition d'un complexant comme le citrate de potassium qui n'a pas d'effet inhibiteur surl'enzyme.

SCHEMA

D'après ROGER (44).



Le lactosérum ainsi obtenu peut être concentré jusqu'à 70 - 80 % ES par évaporation. Il n'y a plus de cristallisation du lactose, mais parfois, on note une prise en masse de citrate tricalcique quand le sérum n'a pas été déminéralisé.

2.4. Utilisation : produits gélifiés sucrés.

Les produits gélifiés sucrés du type entremets, flans, produits à tartiner, sont de plus en plus utilisés, surtout par les enfants.

Pour réaliser de bons gels, il est nécessaire d'obtenir une structure protéique ordonnée, continue, de façon à ce que les liaisons intermoléculaires soient stables. Or, les protéines de lactosérum sont souvent sous forme colloïdale instable; il est donc nécessaire d'adjoindre un agent favorisant.La gélification des protéines de lactosérum déminéralisé et hydrolysé est possible en présence de saccharose (39, 40).

L'usage du lactosérum hydrolysé concentré à 70 % d'extrait sec, se répand en remplacement des protéines de l'oeuf et du lait concentré sucré, ceci à des taux variables, selon les produits obtenus. Cependant, l'augmentation du taux de protéines du lactosérum est souvent indispensable, ce qui nécessite l'adjonction de concentrés séro-protéiques obtenus par ultrafiltration des sérums.

2.5. Utilisation en confiserie.

Les principales propriétés techniques du lactosérum hydrolysé déminéralisé dans ce domaine sont :

- l'action anticristallisante
- la rétention d'humidité
- la réduction de la saveur sucrée
- le réglage de la viscosité
- l'action plastifiante
- l'amélioration du moelleux, par rapport à la texture crémeuse
- l'adaptation de l'intensité de la caramélisation.

Le lactosérum remplace ici le lait concentré sucré. Le technicien doit cependant contrôler l'intensité de la coloration et le goût de caramel qui augmentent rapidement durant la cuisson, quand on atteint des taux élevés de lactosérum.

Les taux de substitution varient entre 25 et 100 % en utilisant un lactosérum hydrolysé à 90 % et déminéralisé à 50 %.

Exemples : substitution : Toffees de 25 à 100 % du lait concentré
sucres cuits au lait 50 %
fondants 25 %
fondants crème 15 %

2.6. Boissons de lactosérum.

Inexistantes en France, elles sont l'objet de recherches à l'étranger et notamment aux USA (23, 29). Un exemple de boisson à considérer est le produit obtenu par le mélange d'un lactosérum concentré hydrolysé, partiellement déminéralisé, avec un jus de fruits ou de légumes frais. Le mélange, reconstitué avec de l'eau (24) avant de servir, a le goût d'un jus de fruits ou de légumes frais, tout en contenant des protéines lactiques de haute qualité, en plus des minéraux et des vitamines du groupe B. Les jus ainsi préparés peuvent être congelés ou hyophilisés.

III - EXTRACTION DU LACTOSE.-

La production française de lactose représente 11.000 tonnes par an, soit 5 % du marché mondial. Les possibilités théoriques d'utilisation sont très vastes, en alimentation humaine et animale. Cependant, les débouchés possibles doivent tenir compte des législations, des niveaux de prix, des substituts potentiels.

En effet, comme sucre, le lactose présente un faible pouvoir sucrant (6 fois moins que le saccharose) et la concurrence est vive dans ce domaine.

3.1. Fabrication du lactose.

Tous les types de sérum peuvent être utilisés, qu'ils soient préconcentrés, ultrafiltrés, refroidis...

Il est nécessaire de concentrer le sérum sous vide, à des taux élevés supérieurs à 60 % d'extrait sec. La cristallisation est ensuite contrôlée, sous agitation permanente, en refroidissant progressivement le concentré. Ensuite, le lactose est extrait par centrifugation, séché en lit fluidisé, et finalement broyé. Tous ces stades opératoires sont gros consommateurs d'énergie.

3.2. Produits obtenus.

. Le lactose.

Différentes qualités sont disponibles sur le marché : Edible non raffiné, Edible raffiné et Codex. Ces produits contiennent de 99 à 99,8 % de lactose mono hydraté, et moins de 0,3 à 0,1 % d'eau libre.

. Eaux mères de lactoserie.

Les mélasses de lactoserie sont très variables en composition selon l'origine du lactosérum en cause. Ce sont des liquides pauvres en lactose, riches en minéraux. La teneur en matières azotées varie en fonction des traitements antérieurs . La difficulté d'écoulement de ces eaux-mères sur le marché oberre économiquement la production de lactose.

3.3. Utilisation.

. Alimentation humaine.

Le lactose de qualité CODEX pharmaceutique est utilisé en médecine humaine.

Le lactose édible, est utilisé dans les industries alimentaires de seconde transformation.

. Alimentation animale.

Le lactose pur n'est pas utilisé, mais les eaux mères trouvent un débouché dans l'alimentation des animaux. Les lactosérums délactosés partiellement déminéralisés, sont utilisés dans les aliments d'allaitement pour veaux, en remplacement de la poudre de lait écrémé, ceci dans les limites règlementaires. Les porcs peuvent consommer la mélasse de lactose liquide, à concurrence de 20 % de la ration. De même, les aliments liquides pour bovins, utilisent les eaux de lactoseries, en concurrence avec les jus lactosés issus de la séparation des protéines.

IV - EXTRACTION DE PROTEINES.-

Les protéines du lactosérum étant d'excellentes qualités, il apparaît judicieux de les séparer du substrat liquide, pour des utilisations plus spécifiques. En effet, l'ingestion de ces protéines par des animaux et surtout des ruminants est un non sens économique et nutritionnel.

4.1. Précipitation thermoacide.

Cette technique est notée pour mémoire. En effet, à 70°C et plus, la plupart des séroprotéines sont dénaturées et perdent leur solubilité dans les milieux aqueux. C'est-à-dire que de molécules sphériques compactes, elles prennent la forme de structures en pelote statique, ceci étant fonction de la concentration en protéines, de la présence d'ions Ca^{2+}, et surtout du pH. Ainsi MODLLER et EMMON (35) ont montré qu'un chauffage de 15 minutes à 90 - 95°C, ne rend pas les protéines insolubles à pH 3. Le même chauffage à pH 7,5 donne aussi des protéines solubles, dont les propriétés sont cependant très différentes de celles des protéines chauffées à pH 3.

4.2. Précipitation à froid aux polyélectrolytes.

L'emploi de polyélectrolytes chargés positivement ou négativement permet d'obtenir des protéines dont la solubilité et les propriétés fonctionnelles sont en général bien conservées. Ces agents chimiques lient les protéines entre elles, par des interactions électrostatiques et l'ensemble précipite à une valeur convenable du pH. Cependant, on retrouve dans le concentré obtenu, une partie plus ou moins grande du précipitant, et la teneur en minéraux est souvent élevée.

4 2.1. Procédé à la carboxyméthylcellulose. CMC (anion).

Cet agent de floculation précipite les protéines du lactosérum (8). Le précipité obtenu contient un tiers de CMC, et deux tiers de protéines (19). Les meilleurs résultats sont obtenus à 2,8 < pH < 4,0 en général pH = 3,2. L'ajout de substituant de la CMC comme les amines secondaires, augmente la précipitation. Le rendement est supérieur pour un sérum doux à un sérum acide. La séparation et la régénération de la CMC se fait par lavage à l'acide chlorydrique 0,1 N, ou au chlorure de sodium 0,1 N à pH = 3,2. de plus, il est nécessaire de complexer le calcium à l'E.D.T.A. 0,1 N. On peut aussi précipiter sélectivement les protéines, en faisant varier le rapport CMC sur protéines (21), le pH ou la force ionique. Ainsi, un taux de CMC/Protéines égal à 0,28 précipite surtout la β lactoglobuline et la sérum-albumine à pH 4 ; à pH 3,2 et à un taux de 0,48, c'est surtout l' α lactalbulmine qui précipite.

4.2.2. Procédé aux polyphosphates et au ferriphosphate.

Les polyphosphates précipitent les protéines à des pH inférieurs à 4 et des températures comprises entre + 5 et 73°C. L'efficacité est fonction de la force ionique, de la concentration et de la longueur de chaîne du polyphosphate. D'autres travaux (22), utilisent l'hexamétaphosphate de sodium comme agent précipitant à pH acide. La récupération des protéines est augmentée après passage sur résines échangeuses d'ions et filtration sur gel pour éliminer le lactose et les sels. Le chlorure ferrique associé aux polyphosphates (ferripolyphosphates) ou à la chaux permet l'obtention de concentrés protéiques riches en protéines, en fer, en phosphate et en calcium, très intéressants comme additifs alimentaires des produits céréaliers ou laitiers, car très assimilables.

4.2.3. Autres polymères.

L'acide polyacrylique récupère 80 à 98 % des protéines en milieu acide à pH 3 à 4. Il est régénéré à sa capacité initiale par l'acide sulfurique, agissant sur le polyacrylate de magnésium, qui résulte de la dissociation du complexe acide polyacrylique-protéine par lavage au carbonate de magnésium. Les protéines obtenues sont peu dénaturées. Leurs propriétés fonctionnelles comparables à celles du blanc d'oeuf (46).

Le polyéthylène glycol (PEG) précipite et fractionne les protéines du lactosérum à pH 4,6 sans être affecté par la température (43). La concentration en produit précipitant est en relation inverse avec le poids moléculaire des protéines. Les protéines sont ensuite séparées par centrifugation.

COMPARAISON DES DIVERS PROCEDES (33).

	% de récupération protéique	Protéines	Cendres	Cendres après traitement
CMC	68,9	60,7	1,7	-
Chlorure ferrique	88,7	79,1	18,3	1,4
Ferripolyphosphates	91,7	69,5	28,4	4,7
A. polyacrylique	63,3	82,0	12,9	-
Hexamétaphosphates de sodium	75,5	84,0	12,8	1,1

Les rendements en protéines les plus forts sont accompagnés des teneurs en cendres les plus élevées. Un traitement dessalifiant, par action de l'hydrosulfite de sodium $Na_2S_2O_4$ à pH = 2 suivi d'un passage sur gel, diminue fortement ces teneurs en sels.

4.3. Ultrafiltration.

Elle connaît une expansion considérable, liée à l'intérêt de la séparation réalisée, c'est-à-dire la concentration des protéines solubles, mais aussi aux progrès accomplis dans la technologie des membranes.

4.3.1. Les membranes.

Les premières membranes utilisées étaient constituées en acétate de cellulose. Elles sont pratiquement abandonnées, en raison de leur faible tenue à la température, 50°C au maximum, au pH 3 à 8, et aux agents désinfectants. L'essentiel des membranes utilisées aujourd'hui est formé de polymères organiques de synthèse (surtout les dérivés polysulfoniques) qui présentent une bonne tenue à la température 75 à 80°C, et aux pH 2 à 12. Cependant, elles résistent mal aux désinfectants chlorés, au compactage mécanique et présentent une certaine réactivité électrochimique.

La dernière génération de membranes apparues sur le marché, est constituée d'oxyde de zirconium supporté par du carbone graphite, ce qui lui confère une grande résistance thermique : 400°C, mécanique : 40 bars, et physicochimique : tous les pH (15).

4.3.2. Prétraitement du lactosérum.

Il a pour objet d'éliminer tout ou partie des composants qui colmatent les membranes ; comme les microorganismes, les fines de caséine, de lipoprotéines provenant de la membrane des

globules gras, les précipités minéraux et les protéines dénaturées. Ces éléments colmatants peuvent être en grande partie éliminés par une préfiltration, une centrifugation ou une décantation du lactosérum. Cependant, la centrigugation préalable n'élimine pas les lipoprotéines et lors de concentration élevée, le rétentat final présente une teneur en lipides interdisant certains débouchés, comme l'emploi en substitution du blanc d'oeuf, en raison de l'effet dépressif sur l'aptitude au moussage.

La rétention par la membrane d'ultrafiltration, des protéines du lactosérum, modifie brutalement les équilibres et les interactions existant entre ses composants et ceux présents dans la phase environnante, solution aqueuse de lactose, d'azote non protéique et de sels minéraux qui, elle, passe la barrière des pores de la membrane. Au niveau de la barrière, un état instable apparaît, notamment en ce qui concerne la solubilité des sèls minéraux. La chute du débit de perméation, en raison du colmatage des pores de la membrane, est liée à la précipitation de sels phosphocalciques (44). Il faut donc lors du prétraitement, prévenir l'insolubilisation des sels phosphocalciques par addition d'un séquestrant du calcium, comme le citrate de sodium à la dose de 0,2 %, ou bien d'hexamétaphosphate. On obtient des résultats comparables, avec une déminéralisation préalable sur résines échangeuses d'ions (11), ou par électrodialyse. Un prétraitement thermique, en insolubilisant les sels calciques, améliore le fonctionnement, mais souvent une partie des protéines se trouve alors dénaturée, sauf si la température ne dépasse pas 55°C pendant 30 minutes (10). Enfin, la préconcentration du lactosérum, en induisant la complexation des sels phosphocalciques sous forme de phosphates tricalciques (6), en élevant en même temps la force ionique du milieu, augmente la performance de l'équipement.

Selon HICKEY et al (20), l'addition d'ions calcium à la dose de 1 mg/ml, suivi de l'ajustement du pH à une valeur supérieure à 5,6, et d'un traitement thermique : 80° durant 15 secondes, conduit à un accroissement considérable des débits de perméation. On retrouve ici les travaux de BRULE et FAUQUANT (6) qui montrent que l'addition de calcium ionique, entraîne au niveau de la phase aqueuse, une formation de phosphate tricalcique insoluble, laquelle est accentuée par alcalinisation et traitement thermique.

4.3.3. Paramètres d'ultrafiltration.

La température doit être comprise entre 50 et 55°C, ce qui représente le compromis le plus efficace entre la diffusion maximale du perméat au travers de la membrane, la viscosité minimale du rétentat. la maîtrise du développement bactérien et la non dénaturation des protéines, si le temps de séjour reste court. Le circuit hydraulique lactosérum-rétentat est à régime turbulent, avec une vitesse de circulation de 4 à 5 m/seconde, la pression transmembranaire étant la plus faible possible, vis-à-vis de cette vitesse.

4.4. Chromatographie d'échanges d'ions : procédé Spherosil.

La chromatographie est la technique industrielle la plus spécifique, la plus sélective pour la production de protéines très purifiées. Ce procédé permet d'obtenir un isolat protéique soluble non dénaturé, renfermant moins de 0,5 % de lactose et de matières grasses (34).

4.4.1. Principe du procédé Sphérosil.

La méthode est fondée sur les différentes caractéristiques physicochimiques des protéines en solution :

- taille moléculaire
- propriétés hydrophobes : ce sont les chaînes latérales des aminoacides qui créent les zones hydrophobes;
- charges électriques : qui sont fonction des propriétés acido-basiques et sont directement reliées au nombre et à la nature des chaînes latérales ionisables de leur chaîne polypeptidique.

Ainsi chaque protéine peut être caractérisée par son pH isoélectrique pH_i, pH auquel elle ne possède plus de charge électrique.

La séparation des protéines met à profit les faits suivants :

- aux pH supérieurs à leur pH_i, les protéines ont une charge nette négative et sont retenues sur les échangeurs d'anions
- aux pH inférieurs à leur pH_i, les protéines ont une charge nette positive et sont retenues sur les échangeurs de cations.

Leur élution ultérieure est obtenue soit par l'effet du pH, soit par l'augmentation de la force ionique, par compétition sur l'échangeur entre la protéine et un contre ion. Il est de plus, essentiel, que les protéines accèdent à la surface de l'échangeur d'ions, ce qui compte tenu de la taille moléculaire élevée des protéines, nécessite des supports à porosité élevée, du type billes de silice poreuse (Sphérosil).

Les protéines du lactosérum sont classées en quatre groupes électrophorétiques (2) : sérum albumine, β lactoglobuline, α lactalbumine et immunoglobuline.

Caractéristiques des protéines du lactosérum :

Type de protéines	Masse moléculaire	Point isolectrique	% dans le sé
β lactoglobuline	18.200	5,2	53
α lactalbumine	14.000	5,1	25
Sérum albumine	69.000	4,9	6
Immunoglobuline	160.000	5,8 - 7,3	16

4 4.2. Principes techniques.

Les sphérosils échangeurs d'ions sont utilisés en colonne. Le procédé se décompose ainsi :

- adsorption des protéines par percolation sur la colonne
- lavage : à l'eau de façon à éliminer la solution déprotéinée restante
- élution des protéines : échangeurs d'anions : solution acide
  échangeurs de cations : solution basique
- lavage : à l'eau de la colonne pour réutilisation immédiate.

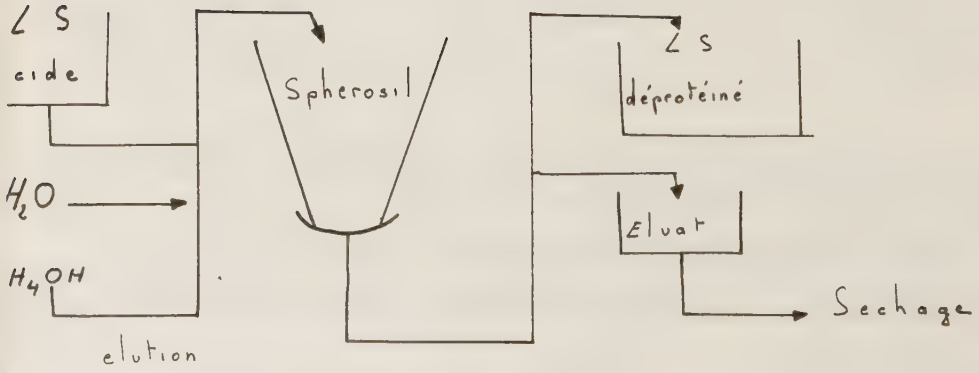
a) Cas des lactosérums acides.

Le lactosérum acide a un pH voisin de 4,6. L'ensemble des protéines est sous forme cationique et s'adsorbe sur un échangeur de cations.

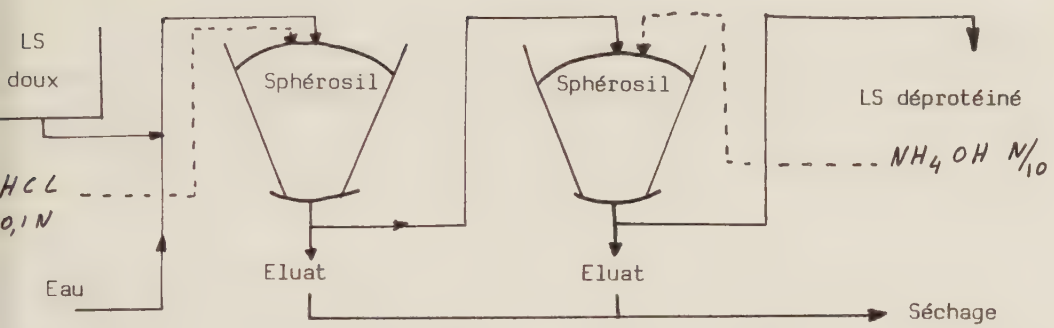
b) Cas des sérums doux.

Au pH des lactosérums doux voisin de pH 6,6, la plupart des protéines est sous forme anionique et s'adsorbe sur échangeurs d'anions. Une faible proportion 7 à 10 % des protéines constituée essentiellement d'immunoglobulines est sous forme cationique et s'adsorbe sur échangeurs de cations.

SCHEMA : LACTOSERUM ACIDE.



SCHEMA : LACTOSERUM DOUX.



Les fractions protéiques élevées sont obtenues en solution à une concentration d'environ 4,5 %, soit 8 fois plus concentrées que le sérum initial. On peut ensuite sécher les rétentats.

Les protéines sont solubles non dénaturées.

Tous les types de sérum sont susceptibles d'être traités par la chromatographie d'échange d'ions ; qu'ils soient doux, acides ou prétraités.

Au niveau économique, les coûts de production sont comparables à ceux de l'ultrafiltration pour des puretés protéiques de l'ordre de 30 %. Au delà, la chromatographie est moins onéreuse.

4.5. Utilisation.

Tous les procédés d'extraction des protéines conduisent à l'obtention de deux produits distincts (32).

- le rétentat, plus ou moins riche en protéines de qualité variable
- le perméat , composé essentiellement de lactose et de minéraux, parfois appelé jus lactosé !

4.5.1. Propriétés fonctionnelles du rétentat.

a) Solubilité.

La solubilité des protéines est mesurée par la quantité

de protéines restant en solution, après centrifugation à 20.000 g. Elle est toujours plus élevée quand le rétentat a été dessalé, et approche les 98 % quand le concentré protéique n'a pas été chauffé. Cette propriété du rétentat, permet l'utilisation des séroprotéines dans les boissons claires ou les boissons lactées.

b) Moussage.

C'est l'aptitude d'un liquide à former de la mousse, ceci en pourcentage du volume initial, dans un batteur. La stabilité de cette mousse est mesurée par la quantité de liquide encore contenu dans la mousse après une heure de repos. La stabilité et le moussage des séroprotéines sont supérieurs à celles des protéines du blanc d'oeuf de poule, de façon très nette si le concentré a été dégraissé. C'est pourquoi, le concentré séroprotéique peut remplacer le blanc d'oeuf dans les industries de la confiserie.

c) Structuration.

C'est la capacité des séroprotéines à former des liaisons stables avec les matières grasses. Le rôle des lipides du lactosérum est fondamental. Cependant, les résultats sont inférieurs à ceux obtenus avec l'oeuf de poule. Les concentrés séroprotéiques doivent être modifiés pour être utilisés dans la biscuiterie.

d) Gélification. Emulsification.

Dans ce cas, les séroprotéines doivent se combiner avec l'eau et les matières grasses pour former des émulsions stables, retenant l'eau, pendant et après les traitements thermiques. Les résultats sont ici excellents. De plus, les séroprotéines apportent une grande valeur nutritive, tout en diminuant le rapport collagène/protéines. Utilisées en tant que liant, dans certains produits de charcuterie, elles concurrencent le blanc d'oeuf et la poudre de lait.

e) Valeur nutritive.

Lorsque les protéines obtenues n'ont pas été dénaturées par les traitements d'extraction, leur valeur nutritive est remarquable par l'équilibre des acides aminés. L'utilisation diététique de ces protéines, devrait se développer considérablement, en regard des besoins mondiaux en protéines de qualité. En effet, les séroprotéines complémentent très bien les protéines céréalières, qui constituent l'alimentation de base d'une part importante de la population du globe.

Enfin, elles rentrent dans la composition des aliments pour bébés.

4.5.2. Utilisation des jus lactosés.

Le jus lactosé est un liquide presque stérile, à la sortie des modules d'ultrafiltration. Son stockage et sa conservation sur plusieurs jours ne posent pas de problèmes. L'ultrafiltrat contient de 45 à 55 g/kg d'extrait sec, selon les lactosérums mis en oeuvre, avec une teneur en lactose voisine de 80 % de la matière sèche.

L'utilisation directe étant limitée, l'ultrafiltrat est d'abord préconcentrée à 25 % d'extrait sec, puis à 55 % d'extrait sec. Enfin, à 75 - 80 % d'extrait sec, ce qui implique une utilisation immédiate à chaud, pour éviter les phénomènes de décantation et de cristallisation.

a) Utilisation du concentré à 25 % d'extrait sec.

Avec le jus lactosé à 25 % E.S., des aliments ou suppléments liquides à base d'urée, de mélasse, de minéraux et de vitamines et contenant jusqu'à 70 % de jus lactosé, peuvent être formulés pour des animaux à l'engrais : génisses, taurillons et vaches laitières. Ces suppléments liquides sont essentiellement des apporteurs d'azote non protéique. Ils peuvent être distribués aux animaux :

- en mélange avec la ration de base
- en libre service : type roue à lécher : ce qui évite une absorption massive d'urée en un temps court.

b) Utilisation du concentré à 50 - 55 % d'extrait sec.

Ce jus lactosé est utilisé à la dose de 8 à 10 % dans les formulations traditionnelles d'aliment du bétail, comme substituant de la mélasse et d'une partie des céréales.

c) Utilisation du concentré à 75 - 80 % d'extrait sec

Elle doit être très rapide, le liquide étant déjà très visqueux à 70-75°C à la sortie du concentrateur.

. La première utilisation, exploite l'aptitude à cristalliser du concentré.

Elle consiste à ajouter au jus lactosé chaud avant cristallisation soit des minéraux et des vitamines pour aboutir à des blocs de minéraux, soit des minéraux, des vitamines et de l'azote non protéique pour former des blocs alimentaires. Le jus lactosé peut constituer 60 à 80 % du total du produit.

. La deuxième utilisation consiste à fixer à chaud dès sa sortie de l'évaporateur, le jus lactosé sur un support de céréales ou de tourteaux, enrobés isolément, à des taux pouvant atteindre 50 % de jus.

Ces produits peuvent être utilisés :

- soit en l'état : comme suppléments azotés pour les tourteaux enrobés, ou comme suppléments énergétiques pour les céréales enrobées
- soit en tant que matières premières, entrant dans la composition d'aliments complets.

En conclusion, les aliments lactosés permettent l'utilisation en alimentation du bétail, de taux d'extrait sec lactosérum jamais atteint. De plus, et compte tenu de l'intérêt de l'association lactose-urée, les formulations lactosées devraient permettre une utilisation d'azote non protéique, plus systématique, ce qui va dans le sens d'une économie de tourteaux, et d'une réduction de notre dépendance vis-à-vis des pays producteurs, tout en valorisant le mieux possible les protéines de haute qualité du lactosérum.

Q U A T R I E M E P A R T I E

-oOo-

FERMENTATION ET PRODUCTION DE CELLULES

-oOo-

La production de levures ou de champignons à partir du lactose, est un problème très important sur le plan économique. On évalue que si tous les ultrafiltrats disponibles étaient traités par ces procédés, cela représenterait 5 % des importations françaises de protéines, importations qui sont équivalentes à nos exportations d'automobiles. D'où l'intérêt des travaux effectués par trois sociétés que nous allons ici étudier.

I - PRODUCTION DE LEVURES CULTIVEES SUR LACTOSERUM : PROCEDE BEL INDUSTRIES.-

L'objectif était de produire des levures aliments, destinées à l'alimentation humaine et animale, telles qu'elles ont été définies par les directives CEE. L'avis favorable du parlement européen a été publié au Journal Officiel C_5 du 8 janvier 1975.

Ces levures aliments doivent :

- avoir perdu leur pouvoir fermentaire
- ne pas avoir subi ni extraction, ni ajout
- répondre à des normes de composition précises ; cendres inférieures à 10 %, matières protéiques supérieures à 42 %.

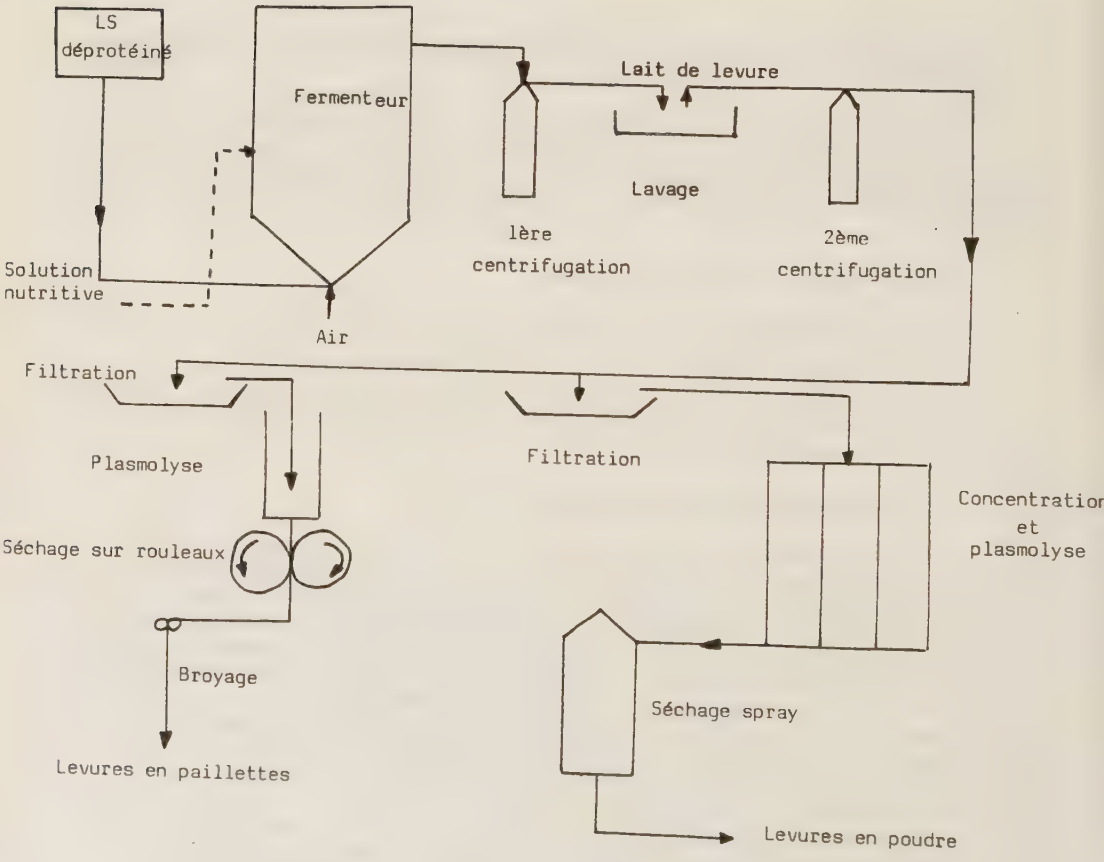
I.1. Procédé de fabrication.

Le lactosérum déprotéiné est utilisé comme milieu nutritif, pour cultiver de façon continue avec insuflation de grosses quantités d'air, une quantité maximale de levures du type K luyveromyces fragilis ou lactis. La culture des levures ne se fait pas en milieu stérile, mais le traitement subit par le sérum avant l'entrée dans le fermenteur, chauffage et stockage à température élevée, assure une très bonne qualité bactériologique de départ. Le pH très bas et la forte population de cellules présentes, limitent les contaminations. De plus, à côté des levures on peut trouver une flore banale de bactéries lactiques du type lactobacilles, environ 10.000 germes au ml, ce qui est à comparer aux 3 milliards de cellules. Des études (30) ont montré que la souche de levures utilisées a tendance à s'adapter progressivement aux conditions du travail industriel, ce qui évite la recherche de souches sauvages, capables de s'implanter dans le

fermenteur. Les installations utilisent du sérum dilué, car les rendements de l'ordre de 52 à 55 % de levures sèches, par rapport au poids de lactose mis en oeuvre, sont obtenus avec des teneurs en lactose comprises entre 25 et 40 g au litre. En milieu concentré, on n'obtient plus de levures lactiques, mais un lactosérum levuré riche en cendres contenant encore du lactose, et donc moins riche en protéines.

Le mout de fermentation est centrifugé et lavé, ce qui le concentre, puis par filtration, on obtient une pâte contenant 18 à 22 % de matière sèche. La pâte subit alors une plasmolyse (choc thermique à 80-90°C pendant 2 à 10 minutes, pour libérer le contenu cellulaire des levures), puis un séchage en tours ou sur rouleaux.

SCHEMA



1.2. Levures lactiques.

Composition moyenne en g pour 100 g :

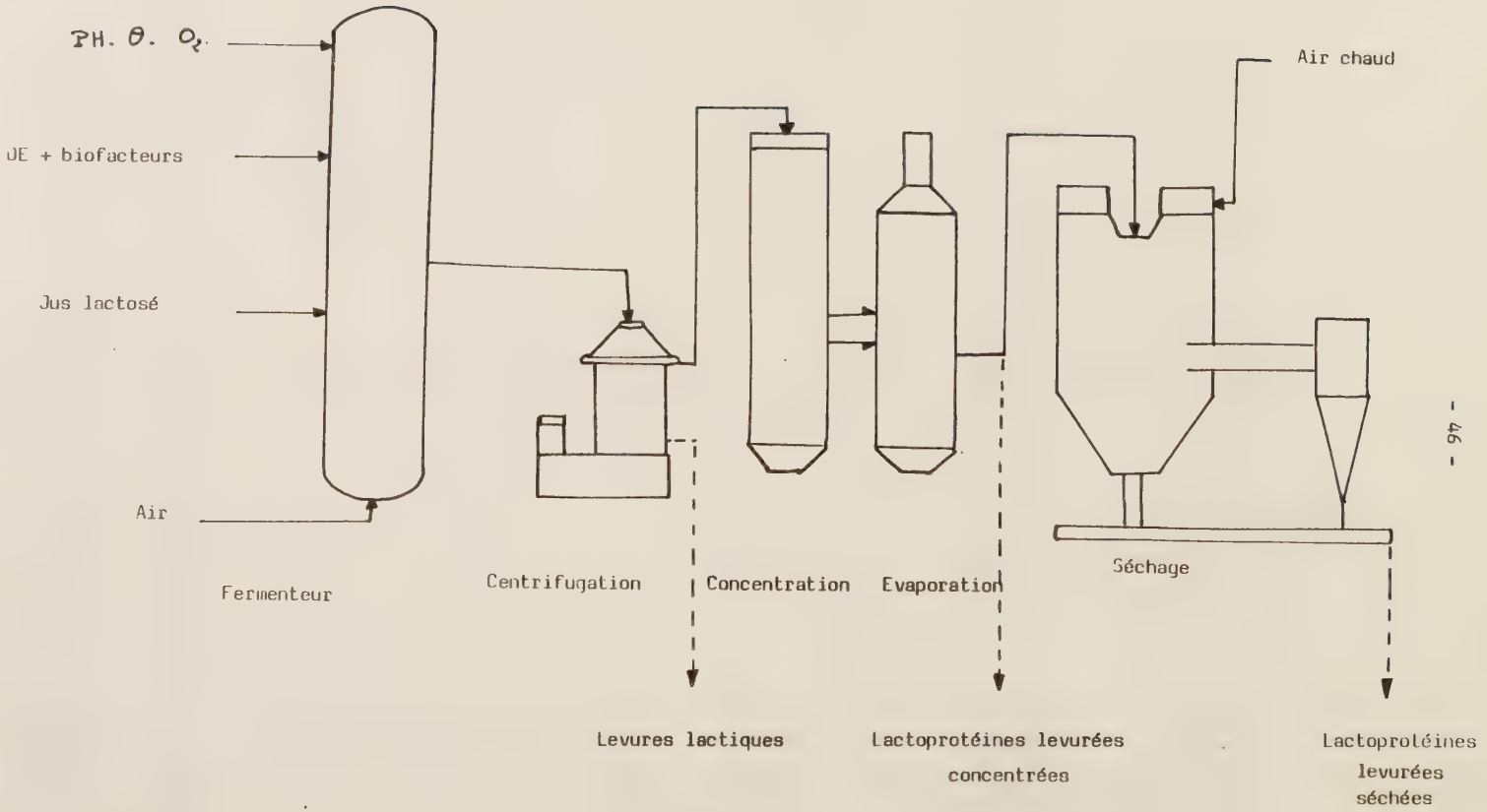
Humidité	4,5
Glucides	30,3
Lipides	6,0
Minéraux	8,1
Choline	0,5
Vitamine B	0,07
Vitamine C	0,006
Matières azotées N x 6,25	50

Composition en acides aminés pour 100 g.

A. aspartique + arginine	4,3
Thréonine	2,2
Sérine	2,6
A.glutamique + glutamine	8,3
Proline	1,5
Glycine	1,9
Cystine + cystéine	0,5
Valine	2,2
Méthionine	0,8
Isoleucine	2,0
Leucine	3,3
Tyrosine	1,5
Phénylalanine	1,5
Histidine	1,0
Lysine	3,5
Arginine	2,5
Tryptophane	0,6

II - PRODUCTION DE LACTOPROTEINES LEVURES : SOCIETE FRANCAISE DES PETROLES BP.-

L'expérience acquise dans le domaine de la culture de levures sur substrats pétroliers et les difficultés rencontrées dans le domaine économique ont conduit la SF BP à s'intéresser à la production de levures sur lactosérum.



SCHEMA
PROCEDE SF - BP

2.1. Procédé.

Il permet de traiter tous les types de sérum : doux, acide, déminéralisé ou non, déprotéiné, concentré, ce qui optimise le traitement au niveau économique. De même que dans le procédé BEL INDUSTRIES, K luyveromyces fragilis, métabolise le lactose jusqu'à épuisement.

L'efficacité du traitement est lié :

- au contrôle du pH et de la température pH 3 à 3,5, θ 30 à 35°C
- au réglage continu de la concentration en oxygène de la phase aqueuse du milieu de culture, évitant une fermentation anaérobie et une transformation du lactose en éthanol au détriment du rendement.
- apport contrôlé d'une source d'azote non élaboré en fonction de l'activité microbiologique
- utilisation de biofacteurs spécifiques, introduits en mélange avec les oligoéléments indispensables.

Le procédé fonctionne pour des sérums concentrés jusqu'à 100 g/litre, ce qui correspond au mélange de sérum natif et semi-concentré. Le rendement en matière sèche est voisin de 60 %.

2.2. Produits obtenus.

On obtient essentiellement des lactoprotéines levurées, concentrées ou séchées selon les besoins.

Composition moyenne en pour cent sur brut, après séchage.

	Lactoprotéines levurées BP	Levures lactiques
Humidité	4	4
Protéines brutes x 6,25	45	56
Matières grasses	3,5	6
Cendres	21,5	7
Lactose	< 0,2	< 0,2

Composition moyenne en acides aminés en pour cent sur brut.

Arginine	1,62	2,4
Cystine	0,67	0,67
Histidine	0,86	0,96
Isoleucine	2,38	2,78
Leucine	3,82	4,32
Lysine	3,60	4,51
Méthionine	0,67	0,86

Phénylalanine	1,93	2,40
Thréonine	2,61	2,30
Tryptophane	0,54	0,67
Tyrosine	1,53	2,11
Valine	2,52	3,17

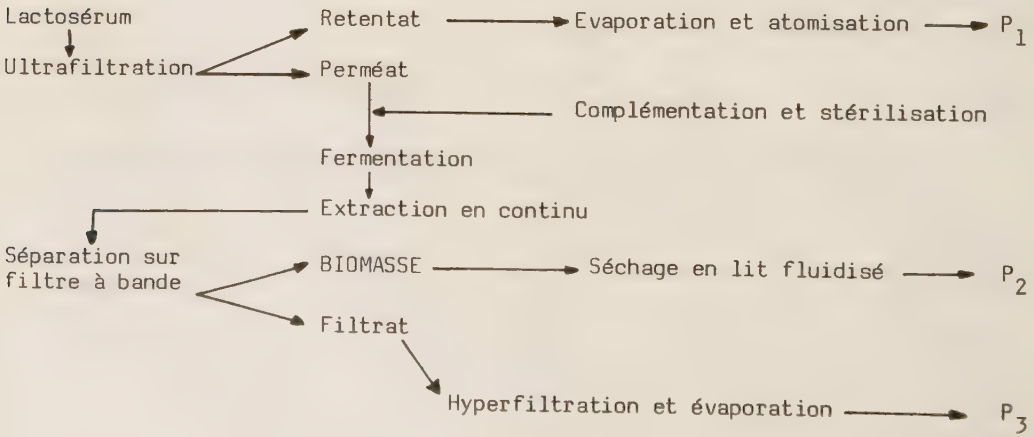
III - PRODUCTION DE CHAMPIGNONS FILAMENTEUX : SIREB-CALIQUA.-

3.1. Procédé.

Les différents sérums de toutes origines, sont fermentés par un champignon filamenteux, dont le taux de croissance, plus faible que celui des bactéries et des levures, est largement compensé par une meilleure digestibilité de la biomasse Y. La fermentation est conduite en continu, ce qui permet une productivité maximum.

Le sérum subit un prétraitement thermique, compatible avec une non dénaturation des protéines, et destiné à améliorer les conditions de fonctionnement des modules d'ultrafiltration. Le rétentat est évaporé et donne le produit P_1. Le perméat après complémentation en azote et en différents oligoéléments, est stérilisé, en vue d'éliminer les microorganismes parasites. Il est ensuite introduit dans les fermenteurs, dans lesquels l'agitation et l'oxygénation permettent la croissance et le développement du mycélium. Celui-ci assimile le lactose et l'acide lactique présents, avec un rendement de conversion supérieur à 50 %. Par extraction continue et passage sur filtre à bande, on obtient un gâteau de biomasse, qui est séché et constitue l'aliment protéiné P_2. Le filtrat contenant des acides aminés libres, est concentré par osmose inverse puis évaporation ce qui forme le produit P_3.

SCHEMA DE TRAITEMENT.



3.2. Produits obtenus.

Le produit P_1 est analogue aux concentrés séroprotéiques obtenus par ultrafiltration (cf 3° partie).

Le produit P_2 séché à 6 - 8 % d'eau est inerte et peut donc être conservé. Il se présente sous la forme de paillettes disponibles pour un éventuel broyage.

Il se compose de :

- 38 à 40 % de matières azotées
- 35 à 40 % de substances glucidiques : sucres libres, polymères du glucose type amidon ou glycogène, et des constituants mal connus des parois, communément qualifiés d'équivalents de la cellulose
- 7 à 11 % de minéraux
- 2 à 5 % de matières grasses
- 5 à 6 % d'acides nucléiques.

Aminogramme du P_2 en g/100 g du produit et du P_3 :

A. aspartique	9,82	7,97
Sérine	5,61	6,69
Thréonine	5,55	5,99
A. glutamique	12,00	31,21
Proline	6,01	4,49
Glycine	5,3	2,54
Alanine	6,64	2,79
Valine	4,68	
Méthionine	1,01	
Cystine	0,25	
Isoleucine	3,75	2,23
Leucine	7,15	2,39
Tyrosine	2,28	2,32
Phénylalanine	4,05	2,29
Lysine	7,50	
Histidine	2,31	3,97
Arginine	7,15	
Tryptophane	0,97	

Dans le P_2 le rapport $\frac{\text{AA indispensable + AA semi-indispensable}}{\text{AA totaux}}$ est élevé, voisin de 0,53 à 0,6, et supérieur à celui du soja 0,44, du lait 0,47, et très proche de celui du lactosérum 0,59.

IV - UTILISATION DE CES PRODUITS DE FERMENTATION.-

Elle varie selon la qualité des protéines obtenues.

4.1. Levures lactiques.

Ce produit agréé en alimentation humaine, possède une véritable valeur nutritionnelle qui devrait le faire utiliser, comme compléments d'aliments traditionnels dans les pays sous-développés, du fait de la teneur élevée en protéines et en vit.B.

On peut aussi les utiliser dans l'alimentation animale, pour la fabrication d'aliments volailles, et d'aliments d'allaitement, où elles obtiennent d'excellents résultats, en raison de leur digestibilité très élevée chez les monogastriques.

Cependant, la meilleure valorisation économique, les destine à l'alimentation humaine : biscuiterie, alimentation infantile, charcuterie..., et à l'agrochimie en tant que matière première.

4.2. Lactoprotéines levurées et protéines de champignons.

Compte tenu de la teneur élevée en minéraux de ces produits, ils sont destinés à l'alimentation animale.

Le remplacement de 10 % du tourteau de soja par des lactoprotéines levurées dans les aliments poulets de chair ou de dindons, donne des performances légèrement supérieures aux témoins. De même, l'utilisation de faibles taux (5 %) de lactoprotéines levurées en substitution de la poudre de lait, permet d'obtenir une bonne croissance sans perturber l'indice de transformation.

L'avenir est donc largement ouvert pour le développement de ces techniques qui peuvent créer une filière protéines dans un domaine très largement déficitaire, au niveau humain et animal.

C O N C L U S I O N

-oOo-

Cette étude qui montre l'originalité et la diversité des produits issus du lactosérum permet d'envisager un développement important de leurs applications, tant en alimentation humaine et animale qu'en pharmacie et en agrochimie.

Cependant, la valorisation du lactosérum résulte tout aussi bien de ses propriétés spécifiques, que de la levée, à son utilisation, de certains freins d'ordre culturels ou législatifs.

De plus, l'expansion à venir de ces produits est liée à un environnement économique (cours du soja, de l'énergie, de la poudre de lait) très fluctuant.

Enfin, le lactosérum est un exemple presque parfait d'une matière première totalement utilisable, et longtemps négligée. Les différentes crises énergétiques, alimentaires, écologiques, auront permis le développement de recherches sur ce produit, pour le plus grand bien de l'homme, des animaux, et de l'environnement.

Vu : Le Professeur de l'Ecole Vétérinaire
rapporteur

Professeur EECKHOUTTE

Vu : Le Directeur de l'Ecole
Vétérinaire

Professeur R. LAUTIE

Vu : Le Président de la Thèse

Professeur MONNIER

VU ET PERMIS D'IMPRIMER
Toulouse, le 5 3 1982
L'Administrateur Provisoire de
l'Université Paul Sabatier

Professeur D. LANCEL

B I B L I O G R A P H I E

-oOo-

1 - ADRIA - Etudes des propriétés liantes des lactosérums. 1978 - Association pour le développement de la recherche appliquée aux industries agricoles et alimentaires, 1 rue de l'Université BP 313. 29191 QUIMPER.

2 - ALAIS (CH) - Science du lait. Principes des techniques laitières - 3° Edition, Ed. Sep. 1975.

3 - ANDERSON (MJ), LAMB (RC), MICKELSEN (CH), WISCOMBE (RL). 1974 - Feeding liquid whey to dairy cattle. J. Dairy Sci 57 1206-1210.

4 - APRIA - Colloque les lactosérums 1977 - 360 p., 35 rue du Général FOY 75008 PARIS.

5 - BALLLAY (D), STAMBOLI (N), 1974 - Epuration des effluents de porcherie annexées à des fromageries. Journées Recherches Porcines en France. INRA-ITP, PARIS.

6 - BRULE (G), FAUQUANT (G), 1981 - Mineral balance skinmilk and milk retentate effect of physicochimical characteristics of aqueous phas. J. Dairy Res., 48 (1), 91-97.

7 - BUSH (LJ), SCHUM (JD), TENNILLE (NB), WALLER (GR), 1963 - J. Dairy Sci, 703-709.

8 - CLUSKEY (FJ), THOMAS (EL), COULTER (SJ), 1969 - Precipitation of milk proteins by sodium carboxy methylcellulose. J. Dairy Sci, 52, 118.

9 - CTSCCV - Code de la charcuterie, de la salaison et des conserves de viande (Réglementations et usages), 1978, 149 rue de Bercy 75579 PARIS Cedex 12.

10 - DE BOER (R), DEWIT (JN), HIDDINK (J), 1977 - Processing of whey by means of membrane and some applications of whey proteins concentrate. J. Soc. Dairy Techn., 30, 112-120.

11 - DELANEY (RA), DONNELEY (JK), 1975 - Comparaison des procédés à membrane et par échanges d'ions en industrie laitière. APRIA.

12 - EKSTROM (KE), BENEVENGA (N), GRUMMER (RH), 1975 - Effets de régime contenant du lactosérum sec sur l'activité de la lactase de la muqueuse de l'intestin grêle, et des contenus de l'intestin grêle et du caecum du porc. J. Nutri, 105, 851-860.

13 - FEVRIER (C), 1969 - Utilisation du lactosérum et du lactose par le porc en croissance finition. Journées recherches porcines en France INRA-ITP. Ed. PARIS, 91-99.

14 - FEVRIER (C), AUMAITRE (A), 1978 - Ann. Zootech., 27, 471-494.

15 - GOUDEBRANCHE (H), MAUBOIS (JL), DUCRUET (P), MAHAUT, 1981 - Utilisation de nouvelles membranes d'ultrafiltration pour la fabrication de fromages du type St PAULIN In Techn. Lait, 950, 7-13.

16 - GOUDEBRANCHE (H), MAUBOIS (JL), VANOPSTAL (C), PIOT (M), 1976 - Préparation d'un lait de remplacement par ultrafiltration sur membrane, de lactosérum préconcentré par évaporation. Rev. Lait. Franç., 345, 521-532.

17 - GRONCNET (JF), PATUREAU (N), MIRAND (P), TOULLEC (R), PRUGNAUD (J), 1981 - Ann. Zootech., 30.

18 - GUILLOTEAU (P), PARUELLE (JL), TOULLEC (R), MATHIEU (M), 1975. Utilisation des protéines par le veau préruminant à l'engrais. Ann. Zootech., 24, 243-253.

19 - HANSEN (PM), HIDALGO (J), GOULD (IA), 1971 - Reclamation of whey protein with carboxymethylcellulose. J. Dairy Sci, 54, 830-834.

20 - HICKEY (MN), HALL (RD), SMITH (BR), 1980 - Investigations into the ultrafiltration and reverse osmosis of wheys. The effects of certains preatreatment. N2. J. Dairy Techn., 15, 109-121.

21 - HIDALGO (J), HANSEN (PM), 1971 - Selective precipitation of whey proteins with carboxymethyl cellulose. J. Dairy Sci, 54, 1270.

22 - HIDALGO (J), KRUSEMAN (J), BOHREN (HV), 1973 - Recovery of whey proteins with sodium hexametaphosphate. J. Dairy Sci, 56, 988-993.

23 - HOLSINGER (VH), POSATI (CP), DEVILBISS (ED), 1974 - Whey beveradge : a review. J. Dairy Sci, 57, 849-859.

24 - HOLSINGER (VH), SUTTON (LS), VETTEL (HE), ALLEN (C), TALLEY, 1977 - Acceptability of whey soy drink mix prepared with cottage cheese whey. J. Dairy Sci, 60, 1841-1845.

25 - HUBERT (JT), JACOBSON (NL), ALLEN (RS), HARTMAN (PA), 1961 - J. Dairy Sci, 44, 1494-1501.

26 - HUBERT (JT), MOORRE (W), 1964 - J. Dairy Sci, 47, 1421-1423.

27 - JACQUET (B), 1980 - Les concentrés de protéines de lactosérum en remplacement du blanc d'oeuf dans les produits de charcuterie. CTSCCV.

28 - KOM (K), BENEVENGA (NJ), GRUMMER (RH), 1978 - Lactase activity and VFA production in the caecum and colon of pigs fed a corn soy or 40 % whey diet. J. Animal Sci, 46, 1648-1665.

29 - KOSIKOWSKI (FV), 1978 - Whey utilization and whey products : a review. J. Dairy Sci, 62, 1149-1160.

30 - LE LAIT. VANDAME (H.), DELBEWE (R), 1980 - Le lait,61, 605-606, 282-293.

31 - LONGUET, 1977 - Le stockage et le transport des lactosérums concentrés. Colloque APRIA, 1977, 15-23.

32 - LUQUET (FM), 1980 - L'emploi du lactosérum enfin autorisé. Techni. Laitière, 940, 23-25.

33 - MATHUB (BN), SHAHANI (KM), 1979 - Use of total whey constituants for human food. J. Dairy Sci, 62, 99-105.

34 - MIRABEL (B), 1978 - Nouveau procédé d'extraction des protéines du lactosérum. Ann. Nutri. Alim., 32, 243.

35 - MODLER (HN), EMMON (DB), 1977 - Properties of whey protein concentrate prepared by heating under acidic conditions. J. Dairy Sci, 60, 177.

36 - MYLREA (PJ), 1966 - Res. Vet. Sci, 7, 394-406.

37 - RAVEN (AM), ROBINSON (WL), 1958 - Brit. J. Nutr., 12, 469-482.

38 - RAYSSIGUIER (Y), PONCET (C), 1980 - J. Animal Sci, 51, 180-185.

39 - RAZANAJATOVOL (L), ALAIS (C), 1979 - Gélification des protéines lactosériques en présence de saccharose. Etude biochimique. Le Lait, 59, 581.

40 - RAZANAJATOVOL (L), ALAIS (C), PAUL (R), 1978 - Gélification des protéines lactosériques en présence de saccharose. Etude physico-chimique. Le Lait, 58, 483.

41 - REMOND (B), MARQUIS (B), HODEN (A), JOURNET (M), 1978 - Utilisation du lactosérum par les vaches laitières. Bull. Techn. CRZV, Thèse INRA, 33, 53-59.

42 - RERAT (A), FEVRIER (C), 1965 - Influence du taux d'hydratation du régime sur la croissance et la composition corporelle du porc. Ann. Zootech., 14, 39-51.

43 - RICHTER (RL), MOOR (CV), REINECCIUS (GA), 1974 - Whey proteins fractionnation with polyethylene glycol. J. Dairy Sci, 57, 493.

44 - ROGER (L), THAPON (JL), MAUBOIS (JL), BRULE (G), 1976 - Hydrolyse du lactose contenu dans l'ultrafiltrat de lait ou de lactosérum en réacteur enzymatique à membrane. Le Lait, 54, 56.

45 - ROJAS (J), SCHNEIGERT (BS), RUPEL (IW), 1948 - J. Dairy Sci, 31, 81-87.

46 - STERNBERG (M), CHANG (P), EBERTS (NJ), 1976 - Cheese whey protein isolated with polyacrylic acid. J. Dairy Sci, 59, 1042-1050.

47 - TACU (A), BIANUS (G), TEODORESCUS (S), PARASCHIV (J), 1973 - Lucrau stuntifice, 1, 97-120.

48 - TOOFANIAN (F), HILL (F), KIDDER (DE), 1973 - The mucosal disaccharidases in the samll intestine of the calf. Ann. Rech. Vet., 4, 57-69.

49 - TOULLEC (R), THIVEND (P), MATHIEU (CM), 1971 - Utilisation des protéines du lactosérum par le veau préruminant à l'engrais. Annal. Biol. Animal. Bioch. Biophys., 11, 435-453.

50 - WEIJERS (HA), VANDE HAMMER (JH), 1965 - Alteration of intestinal bacterial flora as a cause of diarrhoea.

-oOo-